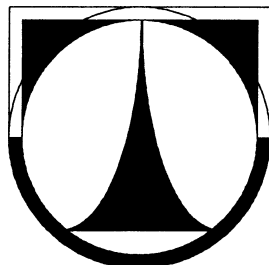


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



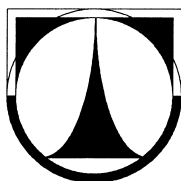
MĚŘENÍ TOČIVÉHO MOMENTU MOTORU VE VOZIDLE
MEASUREMENT OF ENGINE TORQUE IN VEHICLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Martin Holub

Květen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 Strojírenství

Zaměření: 2302R022 stroje a zařízení

Dopravní stroje a zařízení

MĚŘENÍ TOČIVÉHO MOMENTU MOTORU VE VOZIDLE
MEASUREMENT OF ENGINE TORQUE IN VEHICLE

Bakalářská práce

KVM-BP-233

Martin Holub

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Scholz Celestýn, Ph.D

Konzultant diplomové práce: Ing. Brabec Pavel, Ph.D.

Počet stran: 55
Počet obrázků: 40
Počet příloh: 7
Počet výkresů: 9

Květen 2011

Měření točivého momentu motoru ve vozidle

Anotace

Práce se zabývá výběrem a zabudováním přírubových snímačů točivého momentu na výstupu motoru ve vozidle. Dále pak řeší konstrukci umístění snímače ve voze s možností zachycení axiální síly vzniklé při vypínání spojky. Výsledkem této práce je konstrukční návrh úpravy vozu Škoda Yeti se zabudovaným snímačem točivého momentu motoru. Na takto upraveném voze bude za pomoci brždění kol možné určit skutečnou mechanickou účinnost hnacího ústrojí.

Klíčová slova:

Točivý moment motoru
Torzní kmity
Vlastní frekvence
Axiální síla

Measurement of engine torque in vehicle

Annotation

The thesis deals with the selection and install flange torque sensor on output engine in the vehicle. In addition, it addresses the design position of the sensor in the car with the capture of the axial force from the clutch off. The result is design modifications to the car Skoda Yeti with built-in torque sensor. This car will be so prepared with the assistance of braking wheel to determine the true mechanical losses of a drivetrain.

Key words:

Torque Motor
Torsional vibrations
The natural frequency
Axial force

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

Dokončeno :

Archivní označení zprávy:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
2011

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce panu Prof. Ing. Celestýnovi Scholzovi Ph.D. za ochotu při konzultacích, dále pak konzultantovi, jímž byl pan Ing. Pavel Brabec Ph.D., za podklady k válcové emisní brzdě, panu Ing. Robertu Voženílkovi Ph.D. za zkušenosti při snímání točivého momentu motoru a panu Ing. Josefu Blažkovi Ph.D. za ochotu v laboratořích KVM na TUL. Další poděkování patří všem učitelům na TUL a SPŠSE a VOŠ Liberec, za znalosti, které jsem díky nim získal a mohl je tak použít při tvorbě této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.

Seznam symbolů a jednotek

M_k	moment na kolech	[N.m]
M_m	moment na výstupu z motoru	[N.m]
η_m	mechanická účinnost hnacího ústrojí	[-]
i_c	celkové převodové číslo $i_c = i_p \cdot i_r$	[-]
i_p	převodové číslo převodovky	[-]
i_r	převodové číslo rozvodovky	[-]
G	modul pružnosti v krutu	[MPa]
J_p	polární moment průřezu	[mm ⁴]
φ	úhel zkroucení	[rad]
R	odpor	[Ω]
ρ	měrný odpor	[$\Omega \cdot m/m^2$]
l	délka	[m]
Δt	přírůstek času	[s]
n	otáčky	[s ⁻¹]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]
C_0	základní statická únosnost	[kN]
C	základní dynamická únosnost	[kN]
F_a	axiální síla	[kN]
F_r	radiální síla	[kN]
P	základní dynamické ekvivalentní zatížení	[kN]
k_φ	torzní tuhost	[N.m/rad]
J	moment setrvačnosti	[kg.m ²]
f	frekvence	[Hz]
L_{10}	trvanlivost ložiska	[mil. ot.]
p_{max}	maximální tlak ve válci	[Mpa]
$F_{p_{max}}$	síla od maximálního tlaku ve válci	[N]
F_o	síla v ojnici	[N]
F_t	síla v tečnā	[N]
r	poloměr kliky	[m]
$M_{t_{max}}$	maximální točivý moment	[N.m]
M_k	moment na kole	[N.m]
r_k	poloměr kola	[m]
M_h	hnací moment	[N.m]
M_m	točivý moment motoru	[N.m]
η'	celková účinnosti pohonu vozu	[-]

Charakteristika snímače:

M_{max}	rozsah snímače	[N.m]
n_{max}	rozsah otáček	[min ⁻¹]
t	teplotní rozsah	[°C]
F_a	připustná axiální síla	[kN]
b	zástavbová délka	[mm]
I	moment setrvačnosti příruby	[kg.m ²]

MĚŘENÍ TOČIVÉHO MOMENTU **MOTORU VE VOZIDLE**

OBSAH:

1) ÚVOD.....	10
2) TOČIVÝ MOMENT.....	10
2.1 Točivý moment na vozidle.....	10
2.2 Principy snímání točivého momentu.....	11
3) PŘEHLED PŘÍRUBOVÝCH SNÍMAČŮ TOČIVÉHO MOMENTU	
500 – 2000 [N.m].....	16
3.1. Snímače firmy Magtroll.....	16
3.2. Snímače firmy Manner.....	17
3.3. Snímače firmy Hottinger.....	18
3.4. Snímače firmy Kistler.....	19
3.5. Ostatní snímače točivého momentu.....	20
4) VÝBĚR SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU.....	21
4.1. Hledisko točivého momentu	21
4.2. Hledisko torzních kmitů.....	22
4.4. Hledisko otáček.....	22
4.3. Hledisko axiální síly.....	23
5) ZABUDOVÁNÍ SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU.....	24
5.1. Rozbor umístění senzoru točivého momentu mezi motorem a převodovkou.....	24
5.2. Konstrukční řešení.....	25
5.3. Zástavba snímače do vozu Škoda Yeti.....	29
5.4. Konečná zástavba snímače.....	34
5.5. Montáž sestavy snímače do vozu.....	35
6) PRŮBĚH TOČIVÉHO MOMENTU MOTORU.....	36
 7) PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH TOČIVÉHO MOMENTU MOTORU.....	39

7.1. Vliv dvou-hmotového setrvačníku.....	39
8) VYHODNOCOVÁNÍ DAT.....	40
8.1. Účel zástavby snímače Kistler na výstupu z motoru na vozidle.....	40
8.2. Přiřazení naměřených hodnot točivého momentu.....	40
8.3. Vyhodnocování dat pomocí programu Microsoft Excel.....	42
9) ZÁVĚR.....	47
10) SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
11) PŘÍLOHY.....	49

1) ÚVOD:

Snímání točivých momentů na výstupu z motoru a na kolech, nám umožní měřit mechanickou účinnost.. Dlouhodobým cílem je mechanickou účinnost hnacího ústrojí vozu neustále zvyšovat z hlediska snížení ztrát, spotřeby, emisí atp. z toho důvodu je důležité její hodnotu znát. Ke snímání točivého momentu na výstupu z motoru přímo ve voze je vhodné použití přírubových snímačů krátké zástavbové délky, neboť prostor mezi motorem a převodovkou je značně omezen. Pro měření trakční síly na kolech takto uzpůsobeného vozu je možné použití válcové brzdy, čímž jsme schopni určit výstupní hnací moment. Pro vozy s náhonem všech čtyř kol lze měřit moment přímo na kolech za pomoci tzv. ROTotestu, kde je rovněž možné volit různé zatížení kol a určit tak mechanickou účinnost i diferenciálu. Cílem této práce je vytvoření konstrukčního návrhu sestavy zástavby snímače točivého momentu fy. Kistler na výstupu z motoru pro vůz Škoda Yeti.

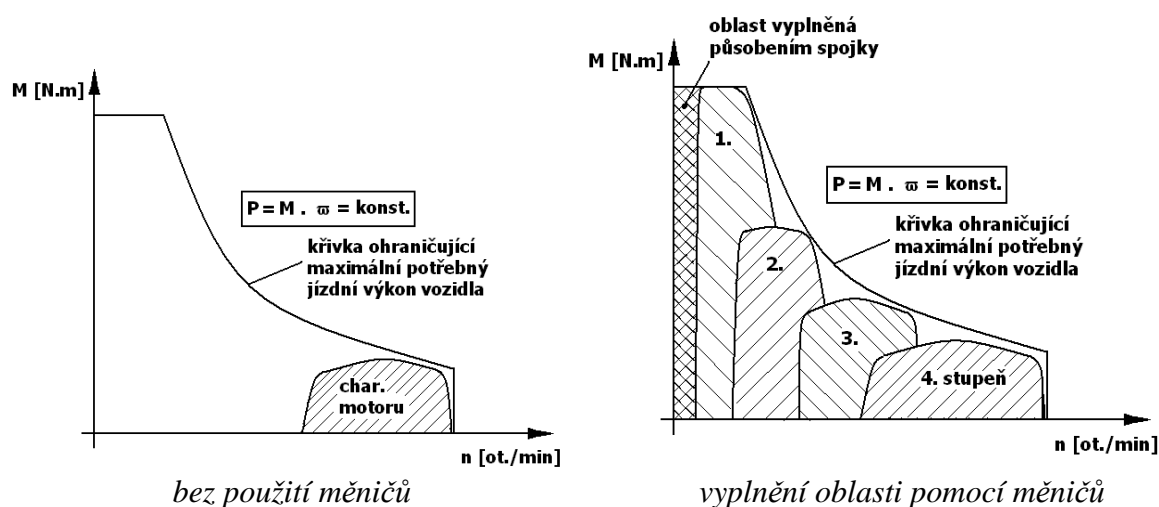
2) TOČIVÝ MOMENT

2.1. Točivý moment na vozidle

Moment motoru je jak známo oproti výstupnímu momentu na kolech ponížen o různé ztráty. U vozidla jedoucího konstantní rychlostí jsou tyto ztráty zahrnuty především v tření ložisek a převodech ozubenými koly. U vozidla zrychlujícího jsou ztráty navýšeny o momenty potřebné k urychlení rotačních částí převodového ústrojí, rozvodovky a hnacích kol.

Při jízdě vozidla je zapotřebí přivádět na kola výkon závisející na jízdních odporech, jako jsou například stoupání, odpor větru, zrychlení, valení atp. Vezmeme-li v potaz, že při daném odporu je výkon konstantní, měla by mít závislost momentu na otáčkách průběh hyperboly. Stejnou charakteristiku by pak měl mít i ideální motor. Jelikož motor pracuje pouze v úzkém rozmezí otáček, je zapotřebí plochu pod touto křivkou vyplnit za pomoci měničů. Měnič otáček u něhož je přenášený moment konstantní a mění se pouze otáčky je ve vozidle spojka. Druhý typ je měnič schopný měnit moment i otáčky, takovým je převodovka. Jelikož změna převodových čísel stupňové převodovky není plynulá ale skoková, nedojde k úplnému vyplnění oblasti pod ohraničující křivkou jízdních odporů. Tento nedostatek lze odstranit použitím variátorů či hydrodynamických měničů momentu.

Závislost momentu na otáčkách ve vozidle:



Obr. 1

Výše uvedené grafy ukazují princip využití úzkého pracovního profilu motoru na celkem široké rozmezí potřebné pro provoz vozidla. Zároveň z nich plyne, že chceme-li měřit přímo moment motoru ve vozidle, musí být snímač zabudovaný na jeho výstupu, popřípadě za spojkou, neboť dále je již měněn převodovými čísly a ztrátami v převodových ústrojích. Ze znalosti točivého momentu motoru a na kolech jsme pak schopni určit mechanickou účinnost celého hnacího ústrojí vozu dle vztahu (1).

$$M_k = M_m \cdot \eta_m \cdot i_c \quad (1)$$

M_k – moment na kolech

M_m – moment na výstupu z motoru

η_m – mechanická účinnost hnacího ústrojí

i_c – celkové převodové číslo $i_c = i_p \cdot i_r$

2.2 Principy snímání točivého momentu na vozidle

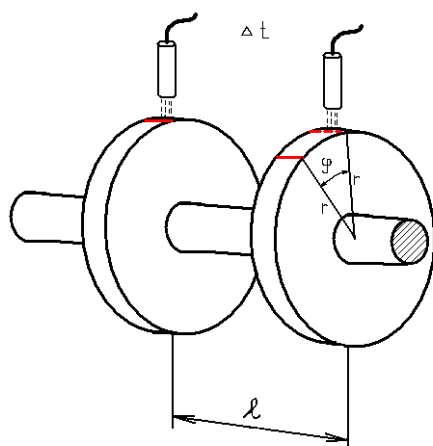
Snímání točivého momentu použitelné pro zástavbu do vozidla:

Jelikož jde o snímání z členu, jenž moment pouze přenáší, je nutné si uvědomit, že tento moment není možné žádným způsobem mařit. Jediným jevem, který lze takto snímat, je deformace součástí krutem. Takové snímání lze realizovat buď za pomoci tenzometrů nebo přírůstků úhlu zkroucení hřídele.

Principy měření točivého momentu:

Měření pomocí optiky:

Za pomoci úhlu zkroucení součásti, lze určit točivý moment, známe-li materiálové konstanty. Toto řešení by například bylo možné realizovat dvěma přírubami známého průměru opatřenými reflexní páskou a snímačem otáček. Na místo přírub je rovněž možné použití pulzních disků se snímáním propuštěného světla fotodetektorem. Natočení hřídele by bylo možné vyhodnotit z přírůstku času jako:



Obr.2

$$s = v \cdot \Delta t = r \cdot \omega \cdot \Delta t = r \cdot 2\pi \cdot n \cdot \Delta t$$

$$s = r \cdot \varphi$$

$$\Rightarrow \varphi = 2\pi \cdot n \cdot \Delta t$$

s.... délka oblouku

Δt...časový rozdíl impulsů

n.....otáčky

Dle Hookova zákona pro krut pak:

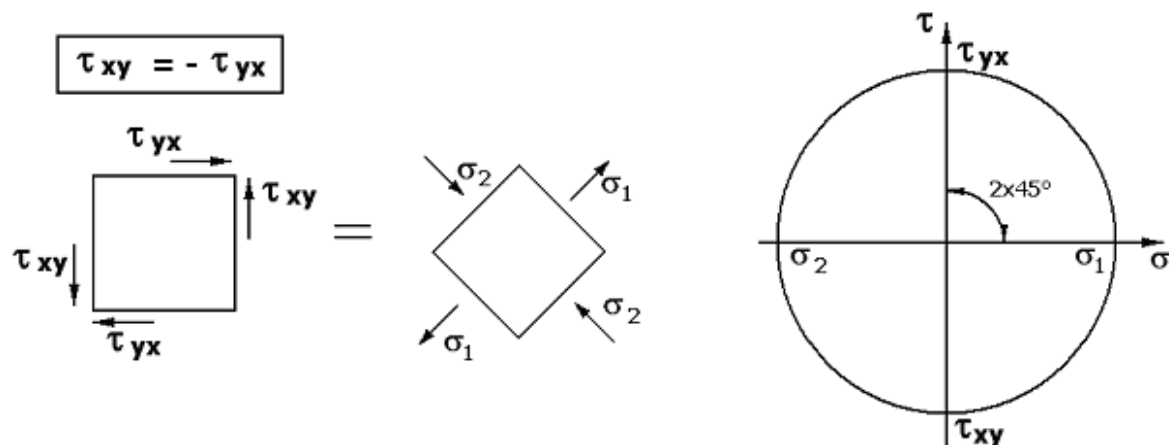
$$M_k = \frac{G \cdot J_p \cdot \varphi}{l} \quad (2)$$

Tento způsob měření je však v praxi velice obtížné realizovat, neboť při vysokých otáčkách a pro malé úhly natočení přírub bude časový rozdíl téměř nulový. Z toho důvodu by bylo nutné požití většího průměru kotoučů nebo delší vzdálenosti, což je z hlediska zástavbového prostoru nevyhovující. Dalším způsobem jak toto řešení realizovat je použití vloženého deformovatelného členu mezi příruby o známé tuhosti (např. pryžové pružiny torzní). Tím by se zvětšil uhel zkroucení a bylo by možné jej lépe detekovat. Ze známosti deformace (zkrutu) a tuhosti lze pak snadno určit točivý moment přenášený tímto členem. Zabudováním deformovatelného členu by došlo rovněž k zmírnění rázů (kmitů) v průběhu momentu na výstupu ze spalovacího motoru. Počet výstupů za otáčku by byl roven počtu reflexních míst na přírubě či otvorů v pulzním disku. Hodnotu otáček by pak bylo možné určit dle počtu impulsů snímače na jedné z přírub (disků) za jednotku času.

Měření tenzometry:

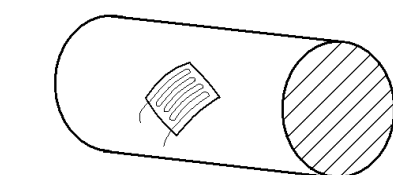
Točivý moment lze měřit pomocí zkrutu hřídele rovněž tak, že na válcový povrch hřídele nalepíme tenzometry pod úhlem 45° (Obr.4), který plyne z dvojnásobných úhlů Möhrovy kružnice (Obr.3). Tím se napětí tečné změnilo v napětí normálové. Vlivem deformace hřídele krutem tak dojde k prodlužování vodiče tenzometru, tím i zúžení jeho průřezu a nárůstu jeho odporu. $R = \rho \cdot l / S$. Vlivem tohoto jevu můžeme pozorovat změnu napětí a tím zjistit točivý moment.

Zatížení krutem:



Obr. 3

- Z Möhrovy kružnice vyplývá, že otočíme-li element o 45° změnil se tečná napětí v normálové, která jsme schopni měřit například výše zmíněnými tenzometry.



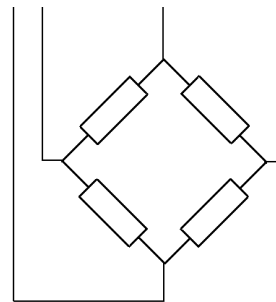
tenzometr na povrchu
válcové plochy hřídele

Obr. 4

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (3)$$

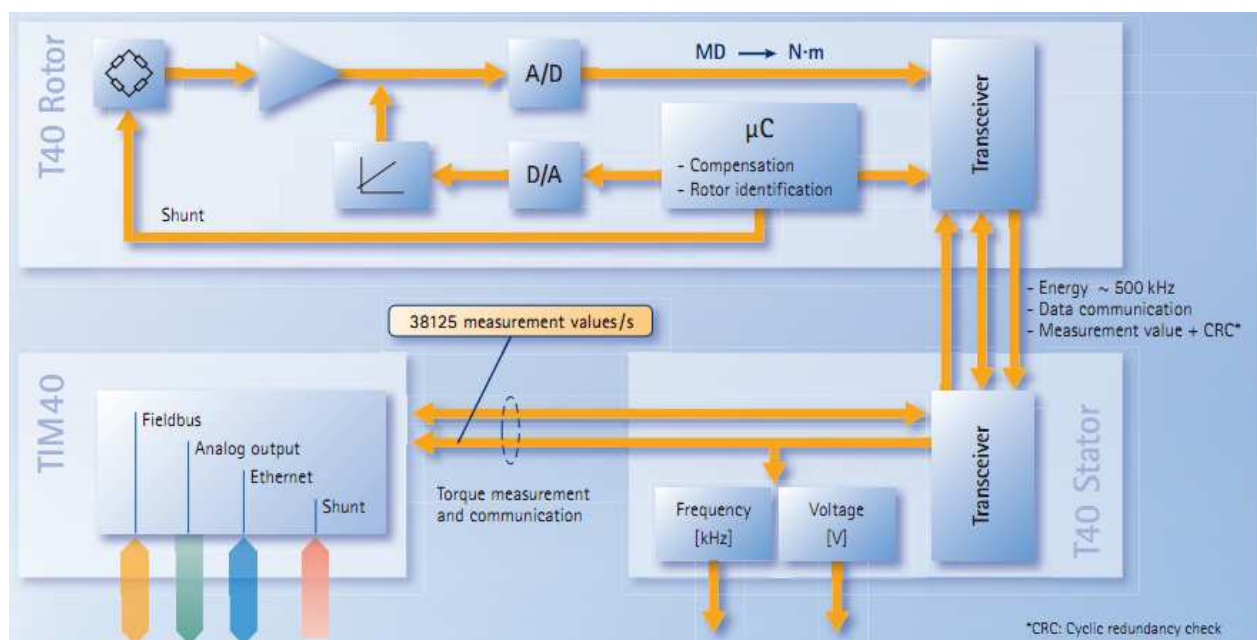
ρ ...měrný odpor
 S ...průřez vodiče
 l ...délka vodiče

- Pro zvýšení přesnosti snímání se tenzometry zapojují do uspořádání můstku. (viz obr.5)



Obr. 5

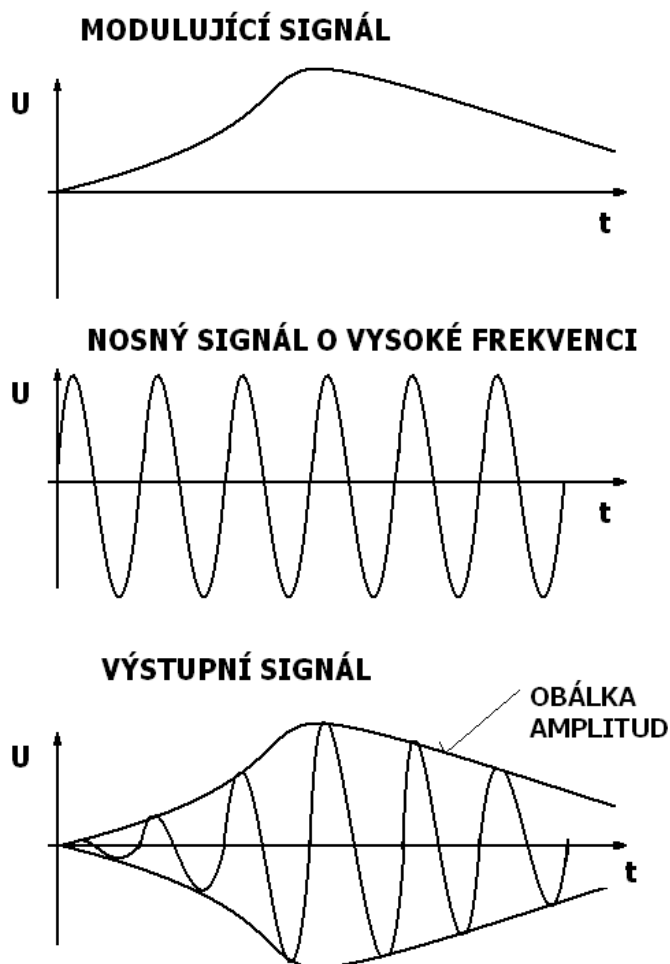
Tenzometrického principu snímání točivého momentu využívají i přírubové snímače níže uvedených výrobců. Příruba opatřená tenzometrickým můstkem bývá zpravidla opatřena navíc zesilovačem signálu, analog-digitálním převodníkem, mikrokontrolérem a vysílačem. Viz. obr.6



Obr. 6 Schéma konstrukce měřící příruby T40 firmy Hottinger [6]

Výstupní analogový signál z tenzometrického můstku, který může být například napěťový je za pomoci A/D převodníku upravován na signál digitální (bitový). To je důležité z důvodu použití mikrokontroléru, jenž dokáže pracovat pouze s digitální signálem. Ten má za úkol nejen kompenzaci chyb, vzniklých vlivem ztrát, teploty atp. ale také ochranu tenzometrického můstku proti přetížení točivým momentem. Přenos dat z příruby na stator snímače je realizován za pomoci vysokofrekvenční indukční vazby mezi vysílačem a přijímačem. Vysílač umístěný na přírubě

přijímá digitální signál z A/D převodníku, který moduluje na svoji nosnou frekvenci. Ta činí u snímačů firmy Hottinger 500 kHz. Celkem existují tři způsoby modulace. Amplitudová, frekvenční a úhlová (fázová). Pro tuto aplikaci se však nejvíce hodí modulace amplitudová (viz obr. 7.)



Obr.7

Přijímač zachytává data vysílané vysílačem o vysoké frekvenci a provádí jejich kontrolu za pomoci systému CRC. CRC – Cyclic redundancy check, neboli kontrolní součet je způsob ověřování chyb v bitovém přenosu dat. Druhou funkcí přijímače umístěného na statoru je rovněž vytvoření napájecího napětí vlivem indukční vazby na rotoru, které napájí tenzometrický můstek spolu s mikrokontrolerem.

Výstup snímače točivého momentu bývá většinou napěťový v určitém rozmezí, které odpovídá měřicímu rozsahu příruby. Většina snímačů je navíc opatřena snímačem otáček, jehož výstup je frekvenční.

3) PŘEHLED PŘÍRUBOVÝCH SNÍMAČŮ TOČIVÉHO MOMENTU

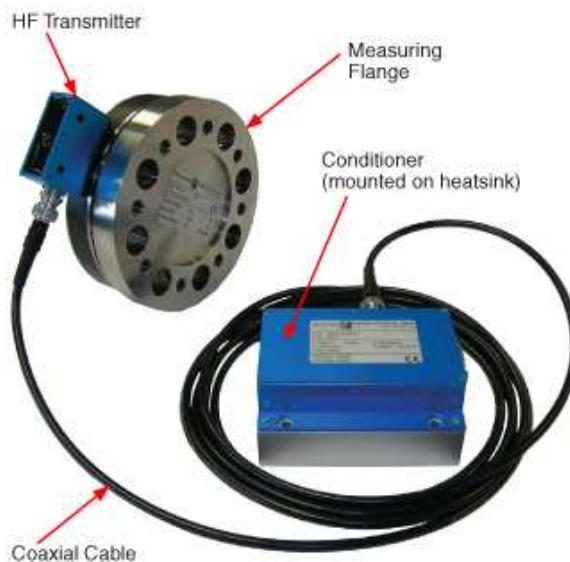
ROZSAHŮ 500-2000 [N.m]

3.1. Magtrol

Rozsahy:

Označení	TF 213	TF 214	TF 215
M_{\max} [N.m]	500	1000	2000
n_{\max} [min ⁻¹]	13 000	13 000	10 000
t [°C]	10 - 85	10 - 85	10 - 85
b [mm]	46	46	47
I [kg.m ²]	0,0078	0,0078	0,0187

[7]



Konstrukce:

Obr.8

Snímač se skládá z rotoru opatřeného na obou stranách přírubami pro upevnění umožňující montáž z jedné strany. Spojení je řešeno pomocí šroubů a osazení pro dodržení souososti. Rotor neboli měřicí příruba je opatřena tenzometrickým můstkem a zesilovačem. Přenos signálu je řešen indukčně a zaznamenáván vysokofrekvenčním přijímačem. Ten je propojen s vyhodnocovací jednotkou koaxiálním vodičem délky 4m.

Vlastnosti:

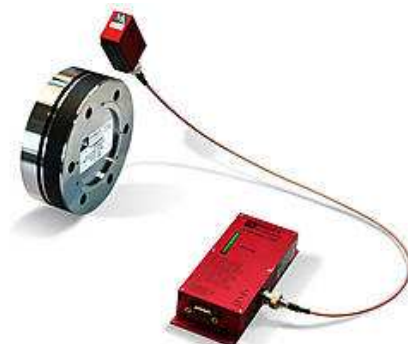
Zdroj napětí může být stejnosměrný 24V max. 350mA nebo 100-240V střídavý. Výstupní napěťový signál se pak pohybuje v maximálním rozmezí $\pm 10V$. Snímač je opět bezúdržbový s dobrou odolností proti rázům a vysokou torsní tuhostí. Přijímač není tvořen prstencem jako u následujícího typu a je proto vhodnější pro snazší zástavbu, kde není třeba přesné centrování prstence ale pouze dodržení snímací vzdálenosti 1-3 mm. K porušení příruby snímače dojde při čtyřnásobném překročení maximálního krouťícího momentu. K senzorům firmy Magtrol lze rovněž pořídit snímače otáček.

www.magtrol.com

3.2. Manner

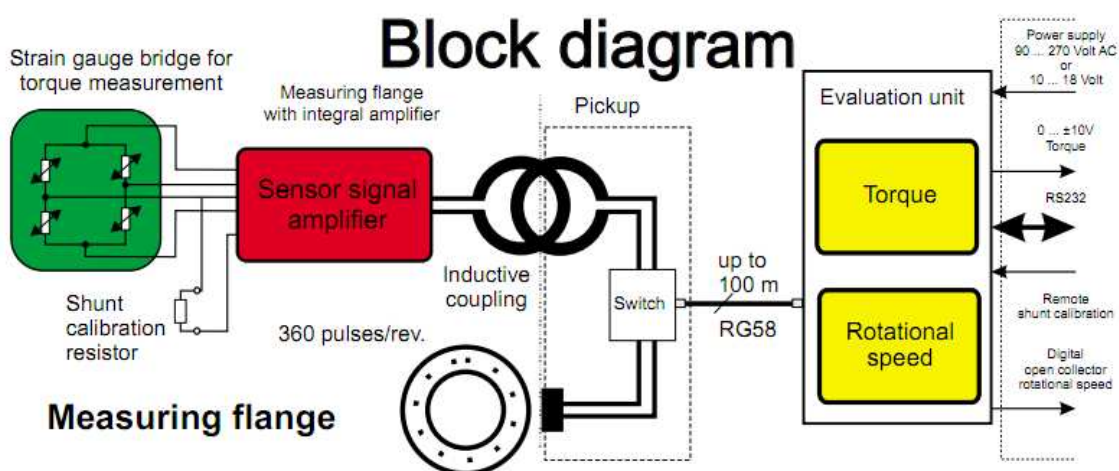
Rozsahy:

Označení	MF-000K500A	MF-001K000A	MF-002K000A
M_{\max} [N.m]	500	1000	2000
n_{\max} [min ⁻¹]	12 000	12 000	8 000
t [°C]	-25 - 85	-25 - 85	-25 - 85
F_a [kN]	8	10	10
b [mm]	45	45	45
I [kg.m ²]	0,00736	0,00736	0,0185



Obr.9

[8]



Obr. 10

Konstrukce:

Celá sestava se skládá z měřicí příruby s vysílačem, přijímače a vyhodnocovací jednotky, popřípadě ještě snímače otáček, (viz. obr. 10). Příruba rovněž umožňuje montáž z jedné strany, je opatřena tenzometrickým můstkem, zesilovačem a vysílačem signálu. Přijímač je řešen obdobně jako u firmy Magtrol.

Vlastnosti:

Snímač je bezúdržbový bez ložisek s indukčním přenosem dat. Třída přesnosti je do 0,3%. Napájecí napětí činí 90 – 270 V střídavé nebo 10 – 18 V stejnosměrné a výstupní signál se pohybuje v rozmezí ±10V. Vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem může být až 10 mm což umožňuje jednodušší montáž v radiálním i axiálním směru.

www.sensortelemetrie.de



Obr. 11

Rozsahy snímačů:

Řada T10 :

Označení	T10F-500Q	T10F-001R	T10F-002R	T10FS-500Q	T10FS-001R	T10FS-001R
M_{\max} [N.m]	500	1000	2000	500	1000	2000
n_{\max} [min ⁻¹]	12 000	12 000	10 000	12 000	12 000	12 000
t [°C]	10 - 60	10 - 60	10 - 60	10 - 60	10 - 60	10 - 60
F_a [kN]	7	7	12	16	19	39
b [mm]	40.5	40.5	42.5	60	60	64
I [kg.m ²]	0,0132	0,0132	0,0296	0,0059	0,0059	0,0192

Řada T40 :

Označení	T40-500Q	T40-001R	T40-002R
M_{\max} [N.m]	500	1000	2000
n_{\max} [min ⁻¹]	20 000	20 000	15 000
t [°C]	10 - 70	10 - 70	10 - 70
F_a [kN]	13	19	30
b [mm]	49	49	53
I [kg.m ²]	0,0045	0,0045	0,0139



Obr. 12

3.3. Hottinger Baldwin Messtechnik

U firmy Hottinger je k dostání typ přírubových snímačů krouťícího momentu T10 a T40. Řada T10 se dělí dále na T10FS délek okolo 60 mm a T10F, což je kratší provedení délky okolo 40 mm s nízkou hodnotou momentu setrvačnosti.

[6]

[6]

Konstrukce:

Snímač se skládá opět z rotoru opatřeného přírubami s osazeními umožňujícími montáž z jedné strany. Na rotoru nalezneme tenzometry, A/D převodník, vysílač a mikrokontrolér. Stator je opatřen přijímačem s napěťovým a frekvenčním výstupem. Má tvar prstence užšího profilu, než je u firmy Kistler.

Vlastnosti:

Veškeré snímače firmy Hottinger lze přetížít na dvojnásobnou mez maximální hodnoty. K porušení příruby dojde při 4x větším zatěžujícím momentu, než je maximální měřicí rozsah snímače. Napájení snímače je stejnosměrné 18 – 30V. Frekvenční výstup se pohybuje v rozsahu 5-15 KHz a napěťový v rozmezí $\pm 10V$. Snímač je vybaven optickým snímáním úhlové rychlosti s maximálně 360 pulzy za otáčku.

<http://www.hbm.cz/>

3.4. Kistler



Obr. 13

Rozsahy:

Označení	4504B 500	4504B 1K	4504B 2K
M_{\max} [N.m]	500	1000	2000
n_{\max} [min ⁻¹]	12 000	12 000	10 000
t [°C]	10 - 60	10 - 60	10 - 60
F_a [kN]	8	10	15
b [mm]	40,5	40,5	42,5
I [kg.m ²]	0,004	0,0038	0,0101

[9]

Konstrukce:

Jde o přírubový senzor krátké zástavbové délky, jež se pohybuje v rozmezí 40,5 – 42,5 mm. Tvar rotoru umožňuje montáž příruby z jedné strany, což je velmi praktické. Stator tvoří prstenec se základnou pro připevnění k rámu (viz obr. 13)

Vlastnosti:

Příruba pro měření točivého momentu funguje na tenzometrickém principu. Rotor se volně otáčí ve statoru bez jakýchkoliv ložisek a je volně uložen. Výstupní napěťový signál v rozmezí $\pm 10V$ může být analogový nebo digitální. Snímač je bezúdržbový, a elektromagnetický přenos dat je odolný prachu a vlhkosti. Senzory firmy Kistler jsou cenově poměrně dobře dostupné. Přenos dat není pro malou vzdálenost nijak ovlivněn okolními kovovými částmi.

Veškeré výše vybrané senzory jsou vyhovující pro měření kroutícího momentu motoru jak z hlediska svých rozsahů a otáček tak i krátkým profilem, který umožňuje zástavbu do úzkého prostoru mezi motorem a převodovkou. Fungují na principu měření tenzometry zapojenými do můstku s indukčním přenosem dat.

www.kistler.com

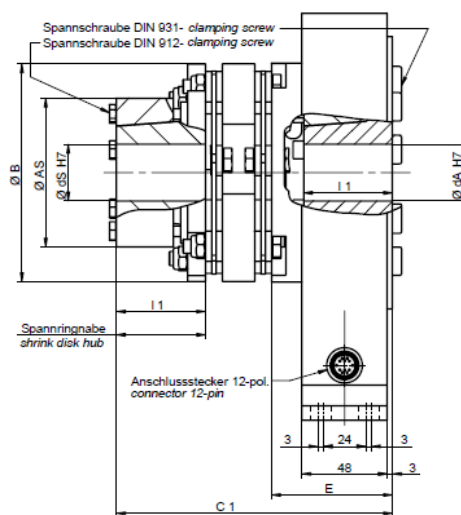
3.5. Ostatní snímače točivého momentu

Dalšími výrobci, jež stojí za zmínku jsou **Datum electronics**, který nabízí snímače typu FF420 délky 100mm a firma **GIF (Gesellschaft für industrieforschung)** se snímači řady F1 délek 80 mm. Jde opět o snímače s bezkontaktním přenosem dat vyhovující svými rozsahy pouze větší délky.

<http://www.datum-electronics.co.uk/ff420-rotary-torque-transducers.aspx>

<http://www.gif.net/en/products/electronics/torque/measure-torque.html>

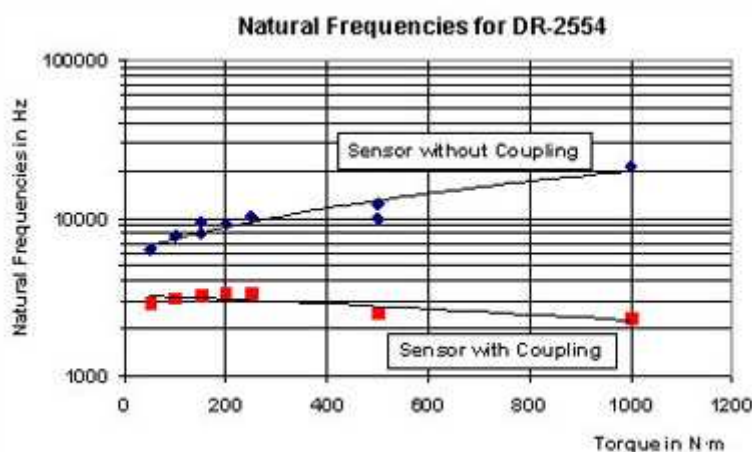
Firma **Lorenz Messtechnik** nabízí obdobné snímače DR2554 do rozsahu 1 000 [N.m]. Jejich připevnění může být řešeno jak pomocí přírub tak i sevřením hřídele kleštinou. (viz. *obr.14*) Nevýhodou je jejich délka, která včetně pružné spojky činí 160 mm. Omezující otáčky jsou 6 800 [min^{-1}]. Tyto senzory dobře snášejí periodicky se měnící průběh točivého momentu a jsou proto doporučovány pro měření spalovacích motorů. To vše nám umožňuje více jak 3x vyšší vlastní frekvence, než u obdobných měřících přírub.



Obr. 14 [10]

http://www.lorenz-messtechnik.de/english/products/rotating_contactless/dr-2554.php

Vliv dvojité spojky na vlastní frekvenci snímače DR2554:



Graf 1 [10]

4) VÝBĚR SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU

Snímače jsou dány svými charakteristickými parametry již od výrobce. Při jejich výběru budeme brát v potaz především velikost a charakter točivého momentu, maximální pracovní otáčky a velikost zatěžující axiální síly, která vznikne při vypínání spojky.

4.1. Hledisko točivého momentu:

Jak již víme časový průběh točivého momentu spalovacího motoru není konstantní a velikost momentu udávaná výrobcem je pouze střední hodnotou původního průběhu naměřenou pomocí dynamometru při zátěžové zkoušce. Vzhledem k tomu, že určení špiček původního průběhu je velice obtížné budeme při volbě snímače postupovat poněkud jiným způsobem. V soustavě motor – spojka – převodovka – zátěž bývá obvykle spojka navrhována jako nejslabší člen tohoto řetězce. Tudíž není možné aby se zde vyskytl vyšší moment než-li je spojka schopna přenést. Vybereme-li tedy snímač o vyšším rozsahu, než je maximální moment přenášený spojkou, nebude nejslabším členem a nemělo by dojít k jeho poškození.

Např. vůz značky Škoda s motorem o maximálním točivém momentu 250 N.m byl vybaven sintrovanou dvoulamelovou spojkou značky AP racing průměru 184mm, která je schopna přenést nejvyšší moment 950 N.m. Z toho vyplývá, že pro tento vůz by bylo možné použít snímač s maximálním rozsahem do 1 000 N.m.

Uvedená data jsou čerpána z:

www.skoda-auto.cz

www.apracing.com

4.2. Hledisko torzních kmitů

Dalším nepříjemným vlivem může být frekvence výkyvů časového průběhu momentu. Ta by se nikdy neměla blížit vlastní frekvenci měřící příruby, neboť pak může dojít resonancím a tím i poškození snímače. Firma Lorenz Messtechnik rovněž ve své studii uvádí, že při překročení vlastní frekvence snímače bývají naměřené hodnoty točivého momentu nižší než skutečné. Proto se jeví vhodné měření točivého momentu s průběhem o nižší frekvenci, než je vlastní frekvence snímače. Vlastní frekvence klasické měřící příruby se zhruba pohybují v rozmezí 1 – 6 kHz. Obvykle se při zabudování snímače používá navíc pružná spojka. Tou může být například dvou-hmotový setrvačnick. Ten ovšem svojí nižší torzní tuhostí понижuje i hodnotu vlastní frekvence soustavy (viz. *graf 1.*). Například při použití pružné spojky firmou Lorenz messtechnik došlo k snížení vlastní frekvence na 300 – 1000 Hz. To je patrné i z výše uvedených grafů. Vezmeme-li v potaz 4 válcový 4-dobý motor s otáčkami 4000 min^{-1} , který má v průběhu momentu dvě špičky za otáčku dostaneme frekvenci výkyvů momentu přibližně 133 Hz, což je vyhovující i pro běžný snímač. Měřící příruby od firmy Lorenz messtechnik disponují více jak 3x většími hodnotami vlastních frekvencí z čehož plyne vhodnost jejich použití pro aplikace spalovacích motorů.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_y}{J_1} + \frac{k_y}{J_2}} \quad (4)$$

uvedené hodnoty jsou čerpány z www.lorenz-messtechnik.de [10]

Druhým způsobem jak se vyhnout přiblížení vlastní frekvence torzních kmitů je snížení její hodnoty pod mez pracovních otáček spalovacího motoru. To nám umožňují pružné spojky či dvou-hmotové setrvačníky, které snižují tuhost celé soustavy.

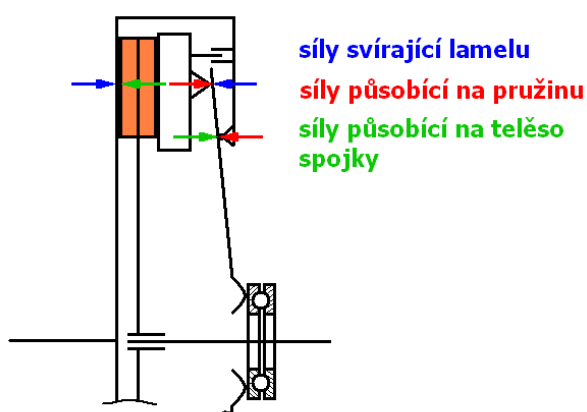
4.3. Hledisko otáček

Maximální použitelné otáčky měřících přírub jsou udávány výrobcem a neměly by být překročeny. Tudíž rozsah otáček snímače musí být vyšší než motoru.

4.4. Hledisko axiální síly:

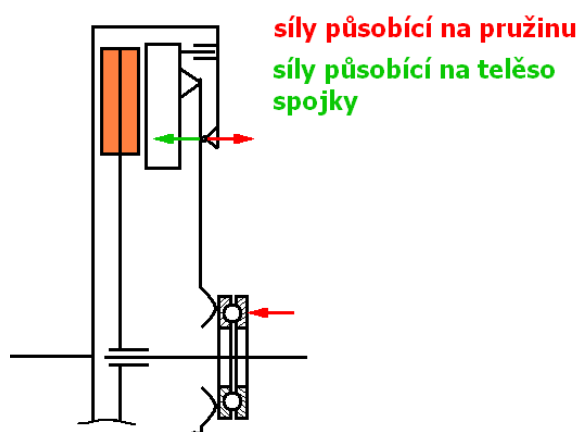
Pozice zabudování snímače točivého momentu se z hlediska konstrukce jeví nejvýhodněji na místě setrvačníku motoru (viz níže). Zde však mohou působit axiální síly od vypínacího ložiska spojky, které by mohly překročit mez povolenou výrobcem snímače.

Spojka s talířovou pružinou



a) zapojená spojka

Obr. 15



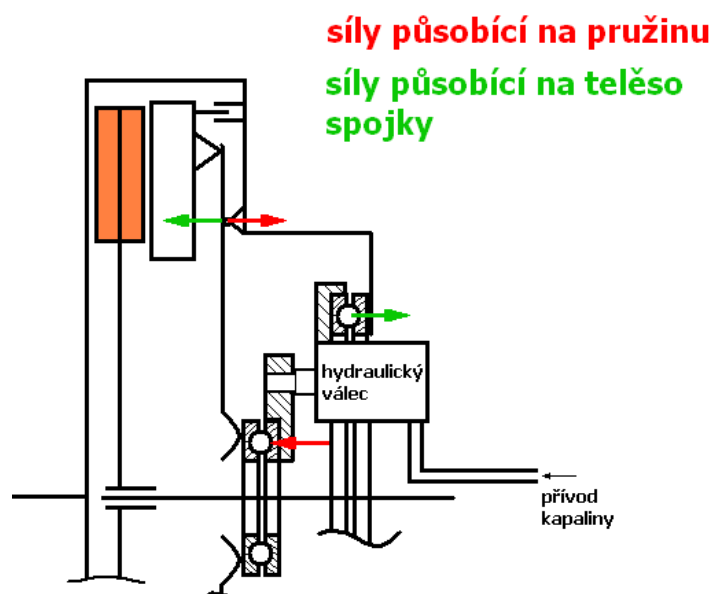
b) rozpojená spojka

Obr. 16

Při zapojené lamelové spojce jsou veškeré síly ve směru osy hřídele v rovnováze (Obr.15). Dojde-li však k jejímu rozpojení (Obr.16), na talířovou pružinu začne působit přes vypínací ložisko spojky vypínací síla, která musí překonat sílu pružiny. Jelikož tato síla má svoji reakci v rámu, poruší tak rovnováhu sil a na štít spojky zůstane působit síla o stejné velikosti, jakou je velikost vypínací síly na axiálním ložisku. Velikost těchto sil může pohybovat v rozmezí 2 – 7 kN.

Chceme-li se této axiální síly zbavit, je zapotřebí ji buď zachytit axiálním ložiskem upevněným v rámu, nebo konstrukčně změnit systém vypínání spojky. Ten by musel být navrhován tak, aby reakce vypínací síly nebyla na rámu nýbrž na štítu spojky. Tím by opět došlo k vyrušení sil. Taková přestavba spojky by však byla konstrukčně poměrně náročná a je proto lepší zabudování axiálního ložiska i na úkor větší zástavbové délky.

Návrh konstrukčního řešení hydraulicky vypínané spojky s vyrušením axiální síly:



Vytvoření rovnováhy sil na tělese spojky by bylo možné realizovat použitím tří rovnoměrně po obvodě rozložených hydraulických válců uložených mezi axiálními ložisky opírajícími se o rotující štít a vypínací páčky spojky.

Takto provedená konstrukce spojky vyruší vliv axiální síly působící na měřící přírubu senzoru a zároveň umožní kratší zástavbu.

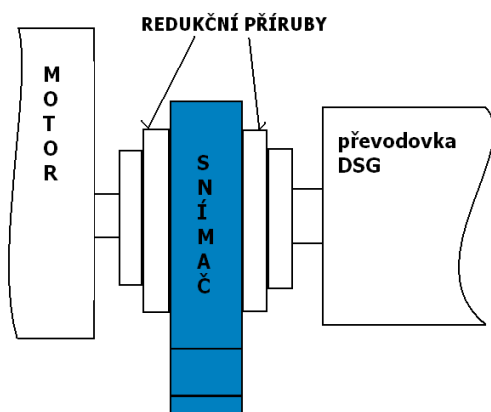
Obr. 17

5) ZABUDOVÁNÍ SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

5.1. Rozbor umístění senzoru točivého momentu mezi motorem a převodovkou:

Na vstupní hřídel převodovky

Zabudování snímače kroučícího momentu na vstup převodovky je z hlediska ovládání spojky velice komplikované a konstrukčně složité. Jistým typem vozidel, u kterých by bylo možné toto řešení aplikovat, jsou vozy s převodovkou typu DSG. Zde je spojka již umístěna v převodové skříni. Tím

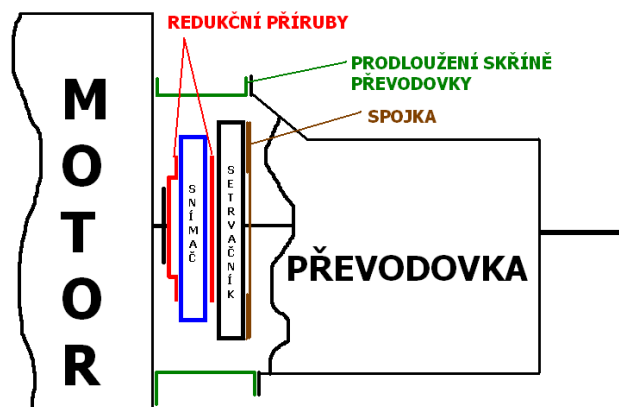


odpadnou komplikace, jež by nastaly se spojkou umístěnou na setrvačnicku motoru. U klasického umístění spojky by bylo nutné vstupní hřídel, jež je standardně opatřen na konci drážkováním pro třecí kotouč spojky rozdělit a opatřit přírubami pro zástavbu senzoru. To by přineslo vysoké nároky na zástavbový prostor.

Obr. 18

Na pozici setrvačníku motoru:

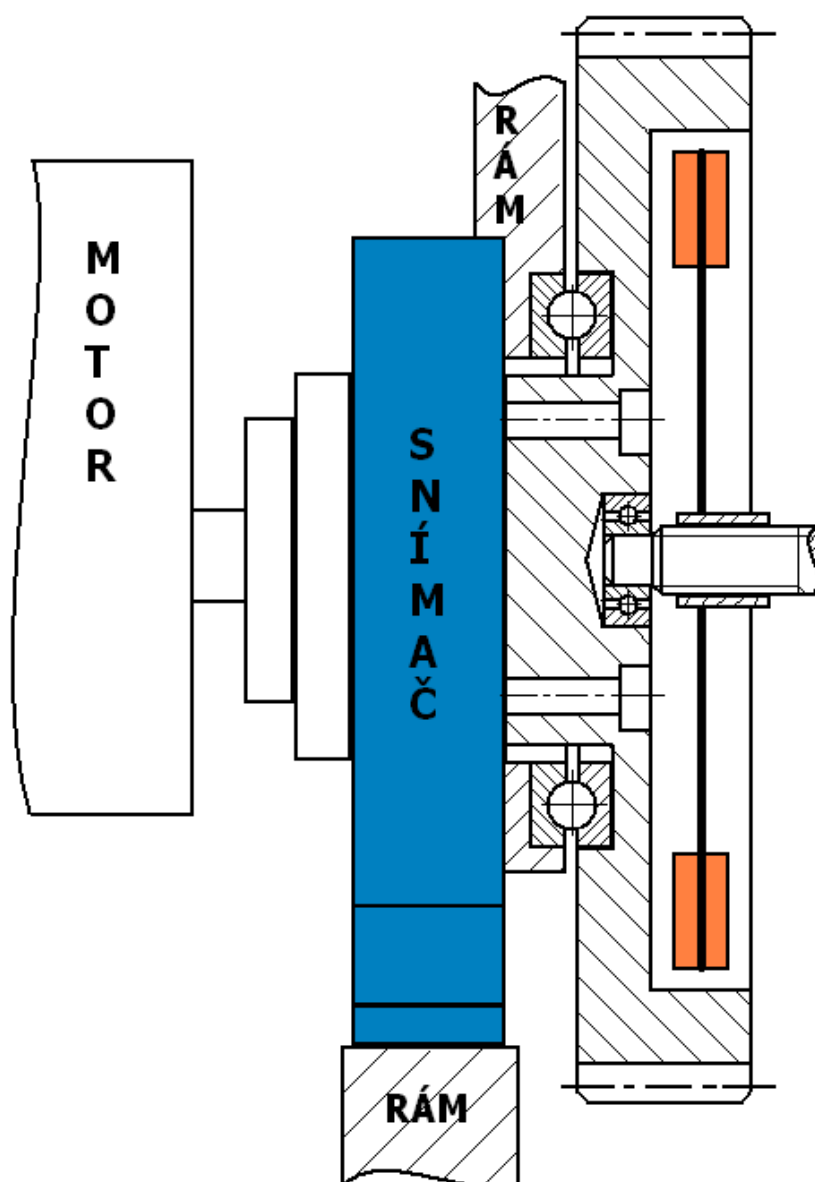
U klasického provedení motoru se spojkou umístěnou v setrvačnicku se jeví tato zástavba jako konstrukčně nejméně náročná a budeme se ji i nadále zabývat. Při zabudování snímače v těchto místech nebude nijak ovlivněno ovládání spojky a tudíž i řazení rychlostních stupňů. Nutný bude ovšem posun motoru o prostor potřebný pro měřicí přírubu s příslušenstvím směrem od převodovky.



Obr. 19

5.2. Konstrukční řešení

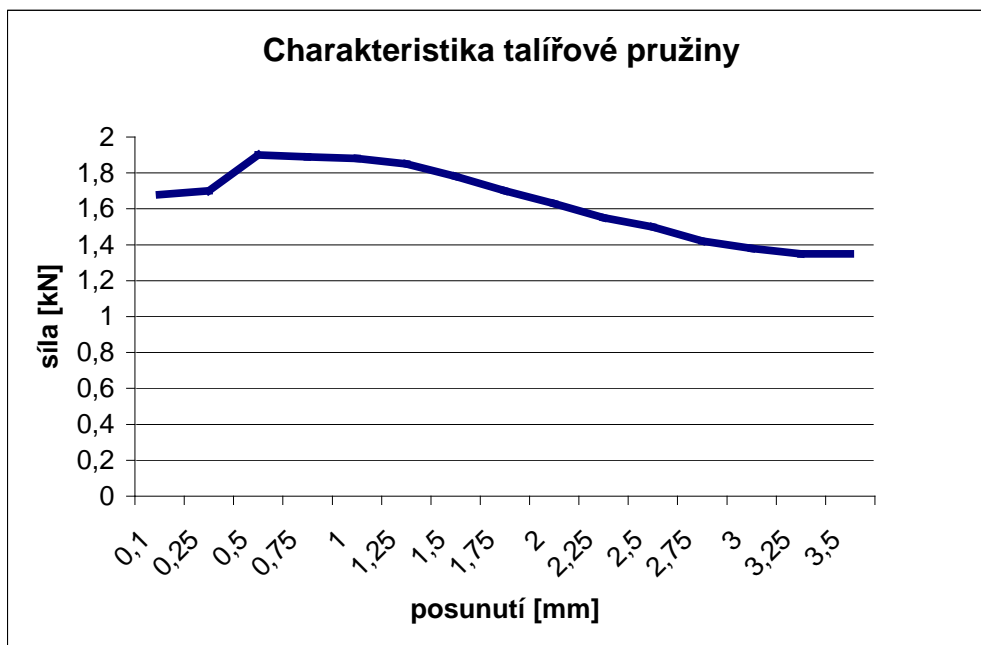
Jak bylo výše uvedeno, nejvhodnějším místem pro zástavbu snímače kroutícího momentu, pro klasické provedení automobilu, bude pozice na místě setrvačníku. Tím je možné využití hmoty měřicí příruby jako setrvačné. Konstrukci redukčních přírub bude nutné přizpůsobit nejen rozměrům přírub klikové hřídele motoru a měřicí příruby snímače, ale zároveň bude nutné mít na paměti, že výsledný moment setrvačnosti celé soustavy (redukčních přírub a měřicí příruby snímače) bude muset být blízký hodnotě původního setrvačníku. Vhodné se jeví rovněž zabudování pružné spojky či dvou-hmotového setrvačníku. Tím výrazně klesá tuhost celé soustavy a zároveň frekvence vlastních kmitů pod pracovní otáčky motoru. Není-li motor opatřen dvou-hmotovým setrvačníkem, zachytí výrazné výchylky kroutícího momentu pružiny spojkového kotouče. Snímač by neměl být porušen kroutícím momentem, nebude-li nejslabším článkem celé soustavy. Proto bude jeho hodnota rozsahu volena vyšší, než je hodnota kroutícího momentu, který je spojka schopna přenést. Snímače firmy Kistler je navíc možné přetížit dvojnásobným momentem, než je měřicí rozsah, aniž by došlo k jejich poškození. K porušení měřicí příruby dojde až při čtyřnásobku překročení měřicího rozsahu. Výstupní příruba bude osazena radiálním ložiskem pro vstupní hřídel převodovky, axiálním ložiskem pro zachycení osových sil od talířové pružiny spojky, ozubením pro spouštěč a třecí plochou pro spojku. Návrh zástavby je patrný na *obrázku 20*.



Obr. 20

Při výběru axiálního valivého ložiska se objevuje problém z hlediska omezení otáček. Kde maximální přípustné otáčky pro axiální ložisko těchto rozměrů činí okolo 1 500 ot/min, což je nevyhovující z hlediska použití u spalovacího motoru. Bude tak nutné z hlediska otáček volit pravděpodobně jiný typ ložiska.

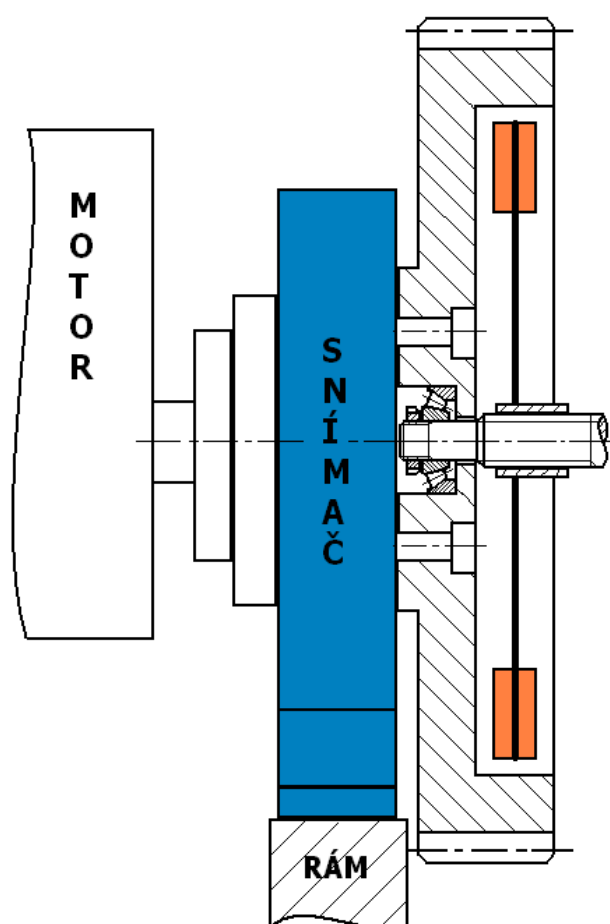
V semestrální práci pana Jiřího Vinkláře z 6.12.2010 TUL bylo pro zachycení axiálních sil voleno radiální kuličkové ložisko 61834 (ČSN 024630). To je schopné zachytit axiální sílu o velikosti 1,9 kN, jež plyne z *grafu 2*. Tato síla byla zjištěna z charakteristiky talířové pružiny spojky na voze Škoda Fabia s motorem 1,2 HTP.



Graf 2 Charakteristika talířové pružiny [13]

Z *grafu 2* plyne, že axiální síla nepřesáhne hodnotu 2 kN a tudíž ani mez povolenou výrobcem snímače firmy Kistler o rozsahu 1 000 N.m, která činí 10 kN. I přes toto zjištění se však pokusíme vliv axiální síly na snímač odbourat. Výběr ložiska je komplikovaný z hlediska velkého průměru a vysokých otáček motoru. Při návrhu kluzného ložiska vychází vypočtená kluzná rychlost při otáčkách 6000 min^{-1} na průměru 170 mm až 53,4 m/s, což je pro materiály kluzných ložisek značně vysoká hodnota. Bohužel ani stávající řešení s ložiskem 61834 není z hlediska otáček vyhovující. Pro olej ho lze použít pouze do otáček $3\,200 \text{ [min}^{-1}]$. Jedinou cestou jak se tomuto problému vyhnout je jít na menší průměr.

Z práce pana Vinkláře bych rád převzal použití upravených hlav šroubů jako vedení, které umožní axiální posuv a tím vymezení vůle a veškerá axiální síla bude zachycena pouze jednořadým kuličkovým radiálním ložiskem. Hlavy pak budou sloužit pouze jako unášče. Jde o jednodušší a méně náročné řešení z hlediska prostoru, než například použití posuvného drážkovaného náboje.



Obr. 21

Skříň nesoucí stator snímače, která rovněž tvoří tunel mezi motorem a převodovkou byla ve výše uvedené práci zhotovena sestavením z výpalků plechu tloušťky 10mm. Zde bude frézována z hliníkového bloku. Další možností zachycení axiální síly je znázorněno na obrázku 21. Takové řešení by přineslo snad nejkratší možnou zástavbu snímače do vozu. Spočívá v zabudování kuželíkového ložiska do zahloubení v setrvačnicku motoru. Předpětí v ložisku by bylo možné nastavit za pomoci KM matice s jemným závitem pojištěné MB podložkou. Nevýhodou tohoto řešení je obtížná montáž, kde by byl obtížný přístup ke šroubům upevňujícím setrvačnick k měřicí přírubě snímače. Tento přístup by musel být řešen otvory ve štítu a kotouči spojky. Z hlediska vymezení vůlí je však toto řešení nejvhodnější. Axiální síla vzniklá od talířové pružiny spojky by se za pomoci kuželíkového ložiska přenesla na vstupní hřídel převodovky. Tu by měla ložiska ve skříni převodovky, která jsou dimenzována pro zachycení axiálních sil zachytit.

Z hlediska obtížné montáže, nutné úpravě konce vstupního hřídele převodovky a volené tunelové zástavby snímače, kvůli vniknutí nečistot, není toto řešení vhodné. Byť přináší výše zmíněné výhody, budeme se nadále zabývat původně navrženým řešením se zachycením axiální síly do skříň (rámu) tunelu, který propojuje přírubu motoru a převodovky . Tyto příruby budou odsunuty a délka tunelu odvozena z délky zástavby snímače.

5.3. Zástavba snímače do vozu Škoda Yeti:

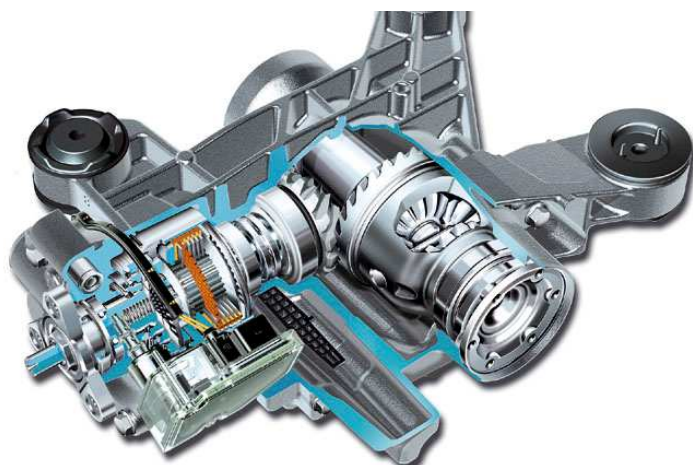
Vůz škoda Yeti byl poprvé představen veřejnosti na autosalónu v Ženevě v roce 2009, kde bylo nové auto s pohonem všech čtyř kol přijato pozitivně. Jde rovněž o první typ terénních vozů vyráběných automobilkou Škoda, který byl později ohodnocen v nezávislých testech Euro NCAP pěti hvězdičkami.

Vůz s pohonem všech čtyř kol, vybavený mezinápravovou spojkou Haldex 4. generace se dodává ve čtyřech různých provedení viz tabulka.

[11]

Motor	1,8TSI/118kW <i>Zážehový přepíňovaný turbodmychadlem</i>	2,0TDI/CR DPF 81kW	2,0TDI/CR DPF 103kW	2,0 TDI CR DPF/125kW
	<i>vznětový přepíňovaný turbodmychadlem, přímé vysokotlaké vstřikování systémem common-rail</i>			
Počet válců/zdvihový objem [cm ³]	4/1798	4/1968	4/1968	4/1968
Maximální točivý moment/otáčky [N.m/min ⁻¹]	250/1500-4500	280/1750-2750	320/1750-2500	350/1750-2500
Maximální výkon/otáčky [kW/min ⁻¹]	118/4500-6200	81/4200	103/4200	125/4200
Spojka	Haldex	Haldex	Haldex	Haldex
Převodovka	mechanická 6°	mechanická 6°	mechanická 6° automatická DSG	mechanická 6°

Čerpáno z www.skoda-auto.cz



Obr. 22 Spojka Haldex [12]

Čerpáno z www.volkswagen.cz

Spojka Haldex: (obr. 22)

Spojka Haldex je elektronicky řízená lamelová spojka jejíž principem je kontinuálně přenášet hnací sílu na kolo s nejlepšími trakčními podmínkami. Přenos síly mezi zadní a přední nápravou je ovládán lamelovou třecí spojkou, kde elektronická čerpadla regulují tlak na jednotlivé spojkové lamely.

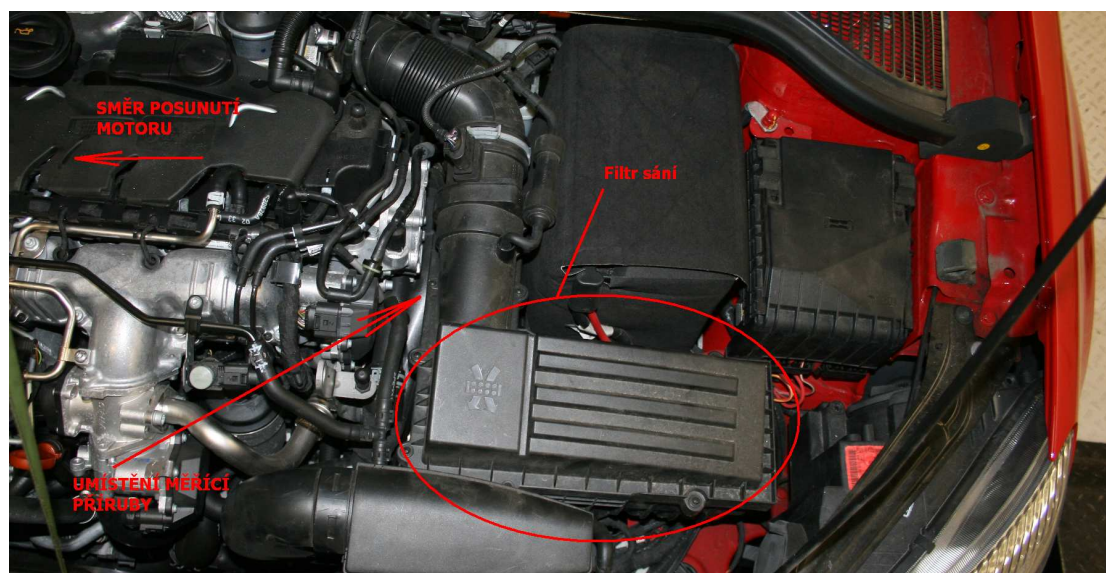


Konkrétní zástavba bude provedena pro motor VW - 2,0 TDI CR DPF/125kW, kterým je vybavený vůz Škoda Yeti na naší katedře. Jde o přeplňovaný čtyřdobý čtyřválcový motor s přímým vysokotlakým vstřikováním a systémem common-rail. Vrtání motoru činí 81 mm, zdvih 95,5 mm a maximální kompresní poměr 16.

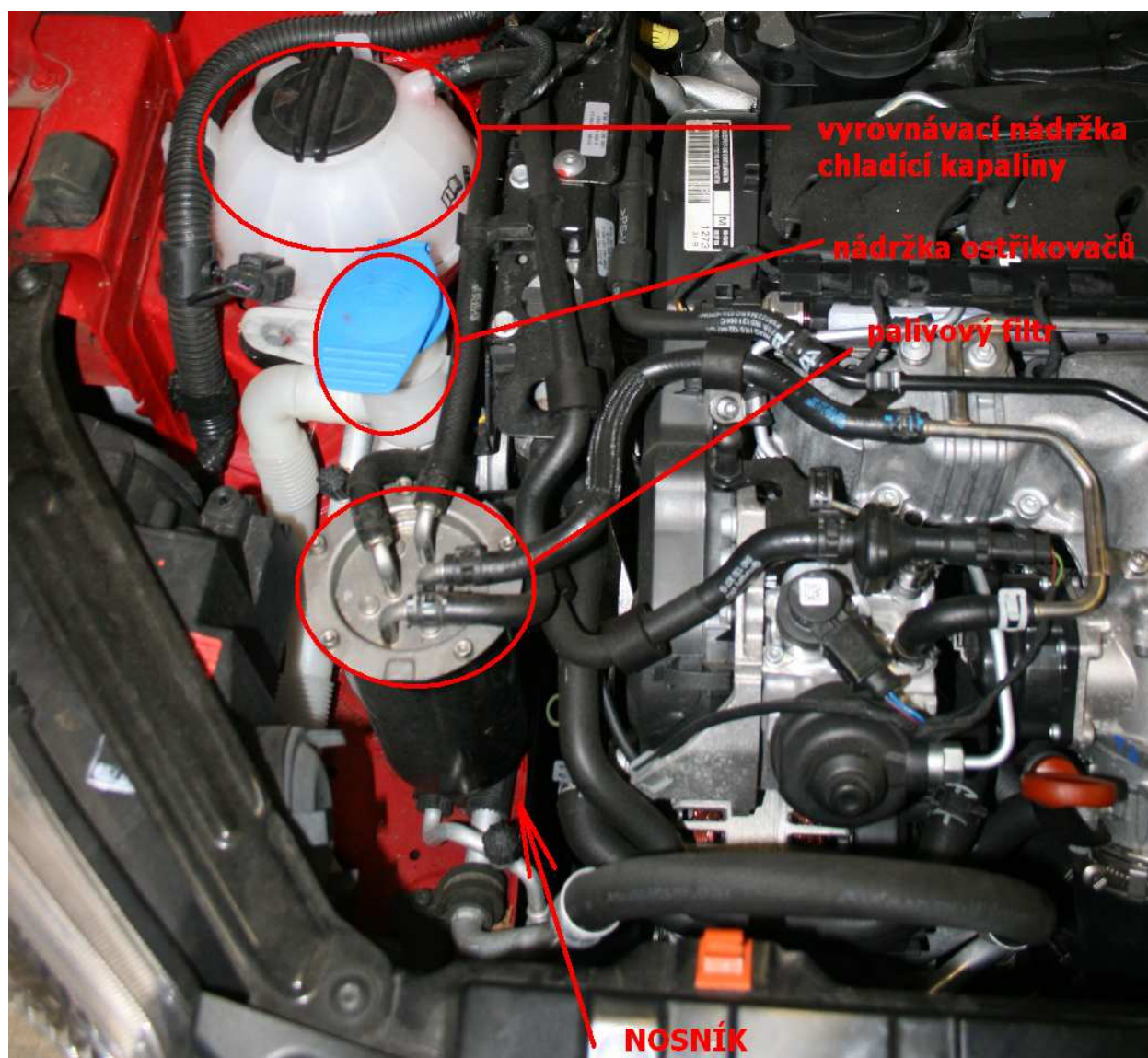
Konečná zástavba do vozu si vyžádá značné zásahy do uchycení a přestavby příslušenství motoru. Úhel natočení příruby snímače se jako nejvíce výhodný jeví přírubou statoru směrem k chladiči (obr. 23), kde však bude nutná přestavba vzduchového filtru sání. Pro toto umístění bude navržen i tunel nesoucí stator snímače a kuličkové ložisko. Obdobné natočení bylo použito i při práci pana Jiřího Vinkláře.

Obr. 23 příruha u vozu Škoda Fabia [13]

Z hlediska vložení tunelu délky dle výkresové dokumentace dojde o tento rozměr k posunutí motoru směrem k pravému podběhu. To si však vyžádá zásah do pravého nosníku karoserie, výrobu nového nosného dílu motoru a jiné uspořádání nádob pro chladicí kapalinu, ostřikovače atp. viz fotografie motorového prostoru vozu Škoda Yeti.



Obr. 24



Obr. 25 Rozmístění příslušenství vozidla po pravé straně motoru.

Z výše uvedeného obrázku vyplývá, že bude nutné vytvořit do pravého nosníku výřez umožňující posun motoru směrem k pravému podběhu. Rovněž by bylo vhodné nahrazení uchycení motoru, které je doposud řešené odlitým dílem tvořícím mezeru mezi motorem a nosníkem. Palivový filtr by bylo možné posunout směrem dopředu tak aby nevznikala kolize s motorem po jeho posunutí. Nádržka ostřikovačů může být pro použití v laboratořích TUL odstraněna úplně. Vyrovnávací nádržku chladicí kapaliny bude po uvážení možné buď odstranit úplně nebo přemístit na opačnou stranu motoru, kde vznikne místo jeho odsunutím.

Vůz Škoda Yeti určený pro zástavbu snímače kroutícího momentu motoru je z důvodu použití dieselového motoru s vysokými tlaky a tím i hodnotami kroutícího momentu vybaven dvou-hmotovým setrvačником. Ty se běžně používají u výkonnějších motorů pro zlepšení komfortu, snížení vibrací a hluku převodovky tam, kde pružiny na spojkové lamely již nejsou dostačující pro tlumení torzního kmitání svým pracovním zdvihem. Dvou-hmotový setrvačник je pro zástavbu motoru snímače do vozu jistou výhodou, neboť hmota pevně připevněná na přírubu snímače je pouze primární hmota setrvačniku. Ta má zpravidla nízký moment setrvačnosti a tvoří pouze kanál pro vedení obloukových pružin. Ze vztahu pro vlastní frekvenci pak vyplývá, že vlastní frekvence snímače pak bude vyšší. Vysoké výkyvy momentu pak absorbují obloukové pružiny dvou-hmotového setrvačniku, jejichž velký zdvih, oproti pružinám ve spojkové lamely, nám dovoluje pracovat s méně strmou charakteristikou. Výsledkem je tedy utlumení nuceného kmitání, vybuzeného spalovacím motorem, obloukovými pružinami zabudovanými ve dvou-hmotovém setrvačniku, které vytváří brzdný moment.

Přidané hodnoty momentu setrvačnosti:

Momenty setrvačnosti jednotlivých částí zástavby	
Příruba motor - snímač	0,005 kg.m ²
Měřicí příruba snímače	0,011 kg.m ²
Příruba snímač-setrvačник	0,009 kg.m ²
celkem přidáno	0,025 kg.m²

Vzhledem k tomu, že setrvačник použitý u motoru vozu Škoda Yeti je dvou-hmotový, nelze příliš zasahovat do jeho konstrukce z hlediska ubírání hmoty. Většinou jde o skořepinovou konstrukci tloušťky okolo 6 mm. Proto bude moment setrvačnosti po celkové zástavbě navýšen o výše uvedenou hodnotu.

Kontrola ložiska:

Vybraný typ: 61818 (ČSN 02 4630)

$d = 90 \text{ mm}$

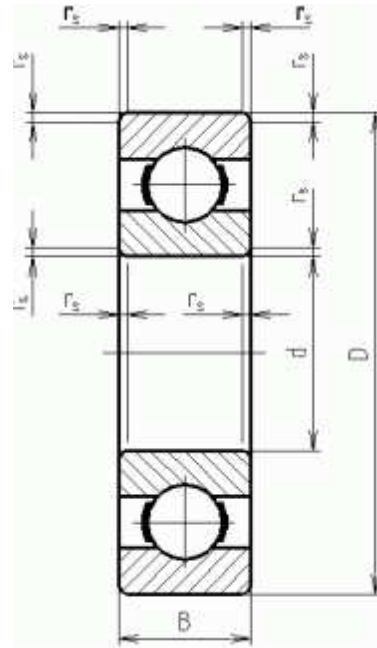
$D = 115 \text{ mm}$

$B = 13 \text{ mm}$

$C = 19,5 \text{ kN}$

$C_0 = 17 \text{ kN}$

$n_{\max} = 6300 \text{ min}^{-1}$ (olej)



$F_a = 1,9 \text{ kN}$

$F_r = 0,1 \text{ kN}$

$F_a / F_r = 19$

$F_a / i \cdot Z \cdot D_w^2 = 1,4 \approx e = 0,34$ poté **$X = 0,56$** **$Y = 1,31$**

$F_a / F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ nebo **$F_a / F_r \geq e \rightarrow P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$**

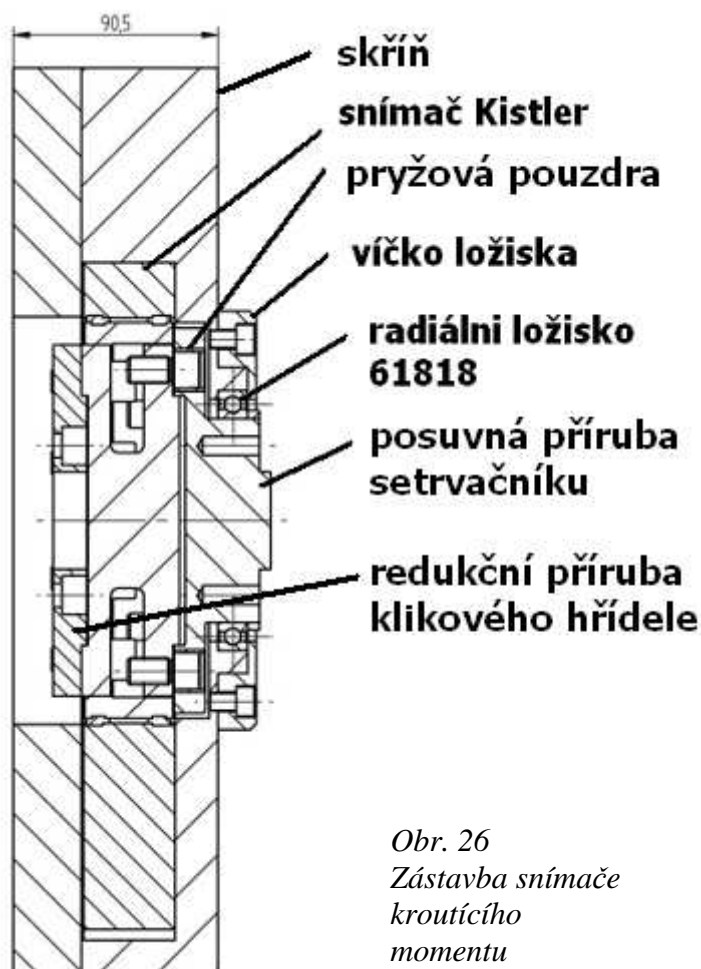
$P = 2,545 \text{ kN}$

$p = 3$

$L_{10} = (C_0/P)^p = (19,5/2,545)^3 = \mathbf{450 \text{ [mil. ot.]}}$

Ložisko SKF 61818 by mělo být schopno snést 450 milionů otáček, což je pro laboratorní účely vyhovující. Vezmeme-li v potaz, že ložisko bude axiální silou zatíženo pouze při vypínání spojky, bude životnost ložiska oproti vypočtené ještě vyšší.

5.4. Konečná zástavba snímače Kistler 1000 [N.m]:



Obr. 26
Zástavba snímače
krouťícího
momentu

Celková délka zástavby snímače vychází okolo 90 mm. Jedinou možností jak tuto hodnotu ještě snížit by bylo odebrání kuličkového ložiska. Skříň vyráběná ze dvou dílů hliníkového bloku bude opatřena průchozími otvory pro šrouby připevňující přírubu motoru a převodovky a dvěma otvory pro středící duté kolíky. Zde musel být pro zástavbu snímače jeden šroub vynechán. Redukční příruba na straně motoru bude upevněna napevno pomocí šroubů k měřicí přírubě snímače. Stator snímače bude zabudován do hliníkového bloku s možností malého axiálního posunu a vystředěn podle vyfrézované kapsy. Přístup ke konektorům bude pouze z jedné strany, uvažováno pro analogový výstup snímače viz. katalog firmy

Kistler. Další příruba nesoucí dvou-hmotový setrvačník je uchycena pomocí kuličkového ložiska. Tato příruba je ke snímači připojena s axiální vůlí a unášena pomocí zvlášť vyrobených šroubů. V přírubě jsou naražena pryžová pouzdra, která by měla zajistit přenos a utlumit vibrace. Roztečná kružnice šroubů upevňujících setrvačník nám dovolí jít na průměr ložiska 90mm. Tomu vyhovuje ložisko 61818 vyhovující jak otáčkami tak únosností. To bude pojištěno ve skříni víčkem umožňujícím rovněž kratší délku než pojistný kroužek. Mezi dvou-hmotový setrvačník a vnitřní kroužek ložiska bude nasazen distanční kroužek. Tím dojde k osovému vymezení pozice příruby a setrvačníku dle ložiska tak, aby byla zajištěna axiální vůle mezi rotorem snímače a redukční přírubou. Tak nebude možný přenos axiální síly na rotor snímače jelikož bude zachycena pomocí ložiska do skříně.

5.5 Montáž sestavy snímače do vozu:

V první řadě musí být z vozu vyjmut motor spolu s palivovým filtrem, odstraněna nádobka ostřikovačů a vyrovnávací nádobka chladící kapaliny. Vyrobená skříň se zabudovaným snímačem kroutícího momentu se sestaví a vzdálenost redukční příruby klikové hřídele od čela příruby skříně se upraví tak, aby byla zhruba o 0,5 mm větší, než skutečná hodnota předsazení příruby klikového hřídele před přírubu bloku motoru. Tím vznikne mezi měřicí přírubou a přírubou setrvačníku po sestavení vůle a nedojde k axiálnímu přenosu sil. Stator se připevní do skříně tak, aby vychýlení rotoru ze statoru nebylo větší jak $\pm 1\text{mm}$. Poté se na přírubu klikového hřídele přimontuje redukční příruba mezi motorem a rotorem, dále pak měřicí příruba snímače Kistler na kterou přijde nasunout příruba pro setrvačník. Vše montáž z jedné strany směrem od převodovky. Utahovací momenty šroubů M12 měřicí příruby musí být 115 N.m dle dokumentace výrobce. Hloubka zašroubování minimálně 13mm. Po nasunutí příruby setrvačníku musí být montována skříň, s radiálním kuličkovým ložiskem pojištěným víčkem ložiska. Pak dojde k montáži dvou-hmotového setrvačníku motoru a spojky tak aby se opíral o distanční kroužek kuličkového ložiska. Nutné bude vyrobit nové dva kusy středících kolíků, které musí být vyhovující svojí zvětšenou délkou (příruba motoru + převodovky + délka tunelu nesoucího snímač). Z čela motoru na rozvodovou řemenici bude zapotřebí připevnit inkrementální čidlo pro vyhodnocování dat systémem AVL. Tím by měly být práce na motoru hotovy.

Na karoserii vozidla bude nutné upravit uchycení motoru k pravému přednímu nosníku, jeho vyříznutí o požadovanou délku (popřípadě vyztužení navařením ocelového profilu z horní strany).

Poté již může být motor vybavený přírubou snímače usazen zpět do vozu skolíkován a přišroubován k převodovce šrouby dostatečné délky. Nutná bude přestavba systému sání tak aby nepřekážel výstupu snímače a jiné umístění palivového filtru.

Otvor pro konektory snímače může být z důvodu zamezení vniknutí nečistot utěsněn silikonem.

6) PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU MOTORU

Pro vznětový 4-dobý přeplňovaný motor se hodnota maximálního tlaku ve válci pohybuje okolo 17 MPa. Ze znalosti vrtání a maximálního tlaku můžeme pak vypočítat maximální sílu na píst pomocí vztahu (1).

$$F_{p_{\max}} = p_{\max} \cdot S = p_{\max} \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \quad (5)$$

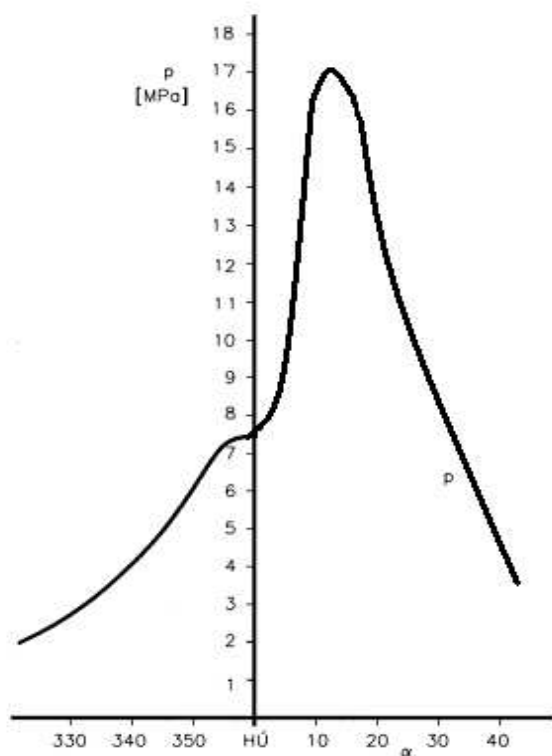
Splocha pístu

p_{\max}maximální tlak ve válci

Dvrtání válce

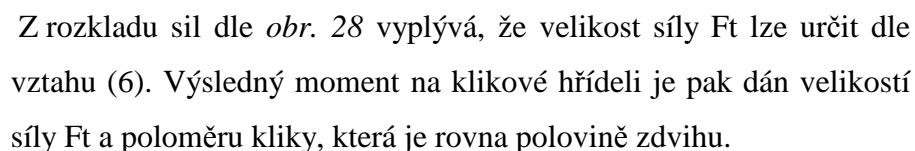
Pro motor s vrtáním 81mm pak hodnota maximální síly činí:

$$F_{p_{\max}} = p_{\max} \cdot S = p_{\max} \cdot \pi \cdot D^2 / 4 = 17 \cdot \pi \cdot 81^2 / 4 = \mathbf{87\,600\,N}$$



Dále pak za pomoci rozkladu sil a znalosti úhlu natočení klikového hřídele (*obr. 27*) můžeme určit maximální kroutící moment od jednoho válce spalovacího motoru. Z obrázku vyplývá, že maximálního tlaku bude ve válci dosaženo při úhlu natočení klikové hřídele přibližně 15°.

Obr. 27 Průběh tlaků ve válci přeplňovaného vznětového motoru



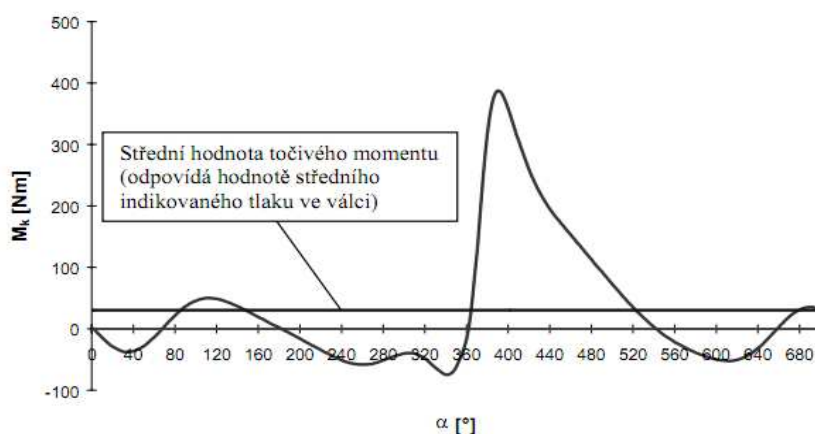
$$F_t = F_o \cdot \cos(90^\circ - \beta - \alpha) = F_o \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

Točivý moment pak vypočteme z:

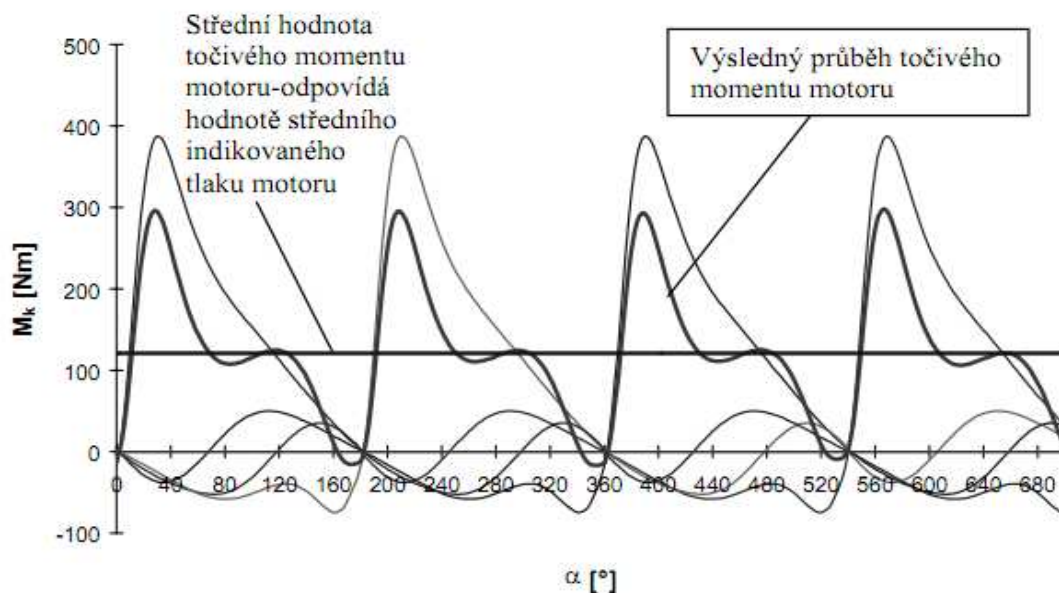
$$M_t = F_t \cdot r = F_t \cdot z/2 = (F_p / \cos \beta) \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot z/2 \quad (7)$$

37

Výsledný průběh krouticího momentu na klikové hřídeli spalovacího motoru není jak již bylo řečeno konstantní. To je způsobeno nejen měnícími se tlaky nad písty a tím i síly vlivem spalování směsi ale také změnou poloměru ramene vlivem natáčení kliky hřídele. Proti těmto kladným hodnotám působí jako tlumení setrvačné hmoty pístů s příslušenstvím, ojnic a klikové hřídele u řadových motorů. Z *obr.29* je patrný průběh krouticího momentu jednoho válce čtyřdobého spalovacího motoru během jednoho cyklu. Na *obr.30* je pak řadový čtyřválcový čtyřdobý spalovací motor, z kterého je názorně vidět výslednou hodnotu průběhu krouticího momentu na klikovém hřídeli, která je nižší o momenty setrvačných hmot oproti původnímu průběhu.



Obr.29 Průběh krouticího momentu na klikové hřídeli pro jeden válec 4D spalovacího motoru [3]

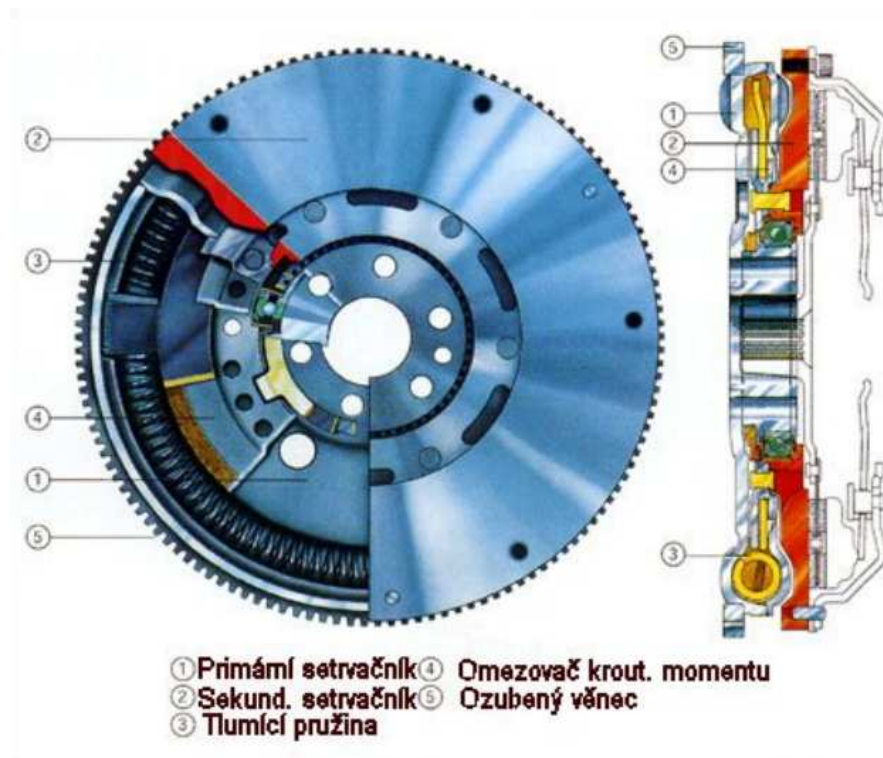


Obr.30 Průběh krouticího momentu klikového hřídele u čtyřválcového 4D spalovacího motoru [3]

7) PRVKY OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU MOTORU

7.1. Vliv dvou-hmotového setrvačnicku:

Dvou-hmotový setrvačnick má za úlohu utlumit torzní kmity, které vznikají tlakovými špičkami při vznícení či zažehnutí palivové směsi ve válci spalovacího motoru. Tlumič torzních kmitů je vytvořen rozdělením tělesa setrvačnicku do dvou hmot. Primární část setrvačnicku je přišroubována na přírubu klikové hřídele motoru, zatím co sekundární část nese štít spojky. Sekundární hmota se potom v určitém rozsahu pohybuje uvnitř primární hmoty. Hladkost pohybu je zajištěna mazáním pohybujících se dílů, pohyb je tlumen obloukovou tlakovou pružinou a třením. Výsledkem je změna kmitočtu vlastních kmitů pohonné soustavy do pásma pod provozními otáčkami motoru (přibližně 300 ot/min.). Další úlohou dvou-hmotového setrvačnicku je omezení přenášeného krouťícího momentu, což zabrání případnému poškození hnacího mechanismu vozidla. U motorů s dvou-hmotovými setrvačnickými se montují spojkové kotouče jednoduché konstrukce bez tlumících pružin. [2]



Obr. 31

Převzato z diagnostika a opravy kotoučových třecích spojek automobilů
Zdeněk Vlasák Odysseus 2003 [2]

Dvou-hmotový setrvačnick je příznivý pro měřicí přírubu snímače z hlediska zatížení krutem, neboť primární hmota, pevně spojená s klikovou hřídelí, má malou hmotnost. Tím je konec klikové hřídele odlehčen. Nevýhodou je však dosti předsunutý konec příruby klikového hřídele před přírubu bloku motoru, z důvodu vypouklého tvaru setrvačnicku po obvodě, který je způsoben kanálem pro vedení obloukových pružin. To vnáší do zástavby přibližně 10 mm nevyužitého prostoru, jelikož úprava klikového hřídele nepřichází v úvahu.

8) VYHODNOCOVÁNÍ DAT

8. 1. Účel zástavby snímače Kistler na výstupu z motoru ve vozidle

Zabudováním snímače kroutícího momentu na výstup z motoru ve vozidle budeme schopni určit skutečnou hodnotu točivého momentu vstupujícího dále do převodových ústrojí vozu. Takto upravený vůz, konkrétně tedy vůz Škoda Yeti s pohonem všech čtyř kol, bude umístěn na válcovou brzdu Daimler Chrysler. Zde budeme měřit při různých zatížení a převodových stupních výkon (otáčky a kroutící moment) na kolech. Tím budeme schopni určit výslednou skutečnou účinnost převodového ústrojí a chování vozu při různých režimech zatížení. Obecně jsou komponenty jako je například převodovka protáčeny elektromotory, kde časový průběh kroutícího momentu neodpovídá průběhu spalovacího motoru. Výsledná účinnost pak opět nemusí odpovídat skutečnosti při zástavbě ve voze.

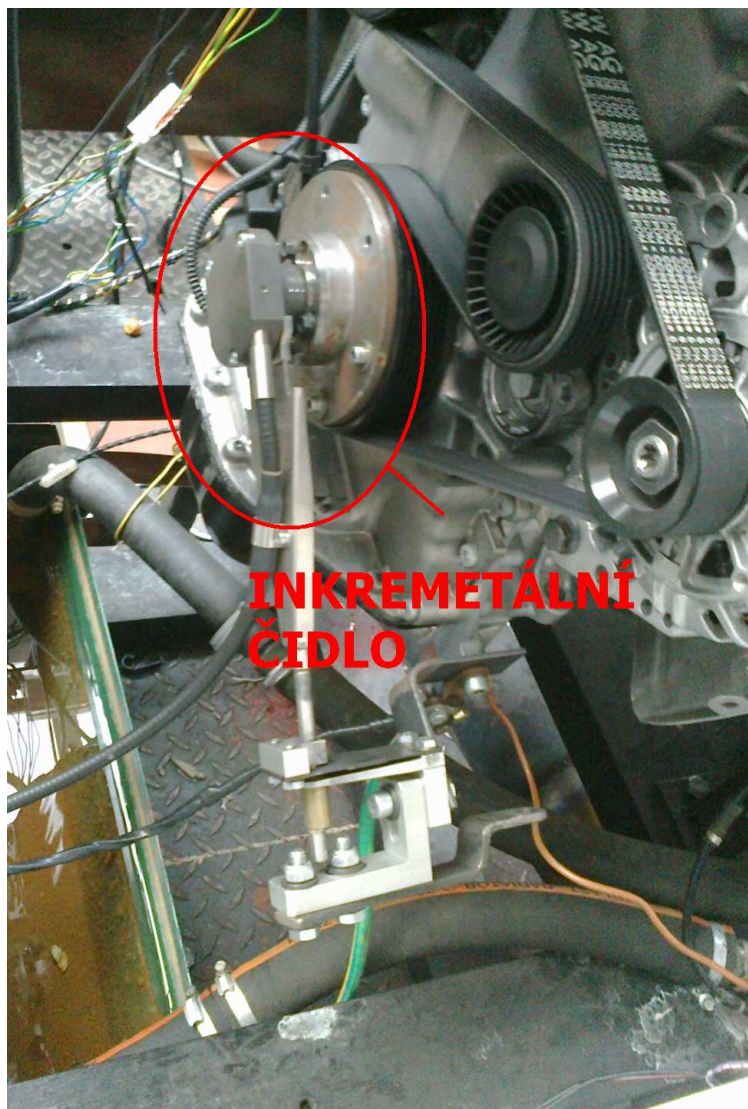
8.2. Přiřazení naměřených hodnot točivého momentu

Snímač je schopný dodávat analogový napěťový signál v rozmezí $\pm 10V$, který lineárně odpovídá měřicímu rozsahu snímače. Tuto hodnotu však musíme přiřadit buď času, nebo úhlu natočení klikového hřídele. Výstup může být i frekvenční, kde by jsme byli schopni ze znalosti otáček přiřadit tuto hodnotu k danému úhlu. Nejpřímější cestou se však jeví použití systému AVL jehož napěťový vstup s rozsahem $\pm 10V$ odpovídá výstupnímu signálu snímače. Při zabudování inkrementálního čidla na rozvodovou řemenici klikového hřídele jsme schopni zaznamenávat naměřenou hodnotu kroutícího momentu například s citlivostí po $0,5^\circ$ natočení. Tím dostaneme celkem $720 \cdot 2 = 1440$ hodnot za jeden cyklus čtyřdobého čtyřválcového spalovacího motoru. Vyhodnocením a určením střední hodnoty u každého cyklu pak můžeme získat variabilitu cyklů celého motoru. Pokud by jsme hodnoty přiřazovali času, dokážeme vyhodnotit pouze střední hodnotu kroutícího momentu za daný časový úsek, nebo složitě rozdělovat naměřená data do

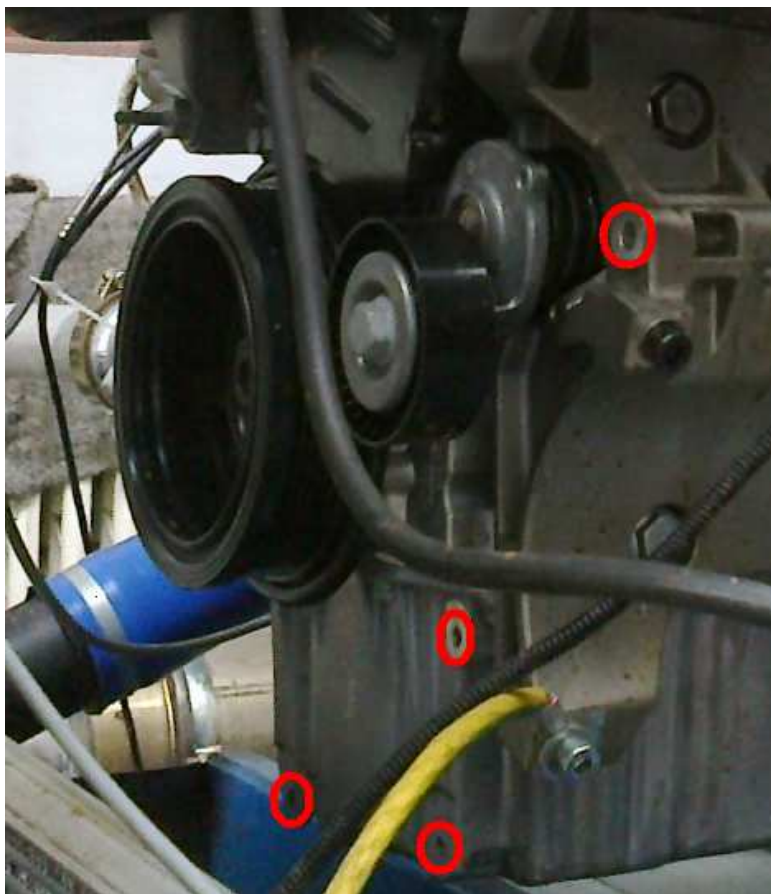
jednotlivých cyklů na základě velikosti otáček motoru a snímací frekvence. Pak by bylo rovněž možné určit hodnoty kroutícího momentu u jednotlivých cyklů.

Inkrementální čidlo:

Jistou nevýhodou inkrementálního čidla zabudovaného na rozvodové řemenici motoru je opět prodloužení zástavby v ose klikového hřídele o délku přibližně 30 mm a tudíž nutnost vyříznutí kapsy v již upravovaném nosníku při pravém podběhu vozu. Při návrhu redukční příruby na rozvodové řemenici k inkrementálnímu čidlu bude možné využít dutiny uvnitř řemenice. Další zkrácení zástavby bude možné při odebrání krytu rozvodů motoru. Inkrementální čidlo je náchylné na vibrace a je tak nutné aby bylo pevně přimontováno na blok motoru nikoliv na karoserii vozu (viz. obr. 35). Neboť motor vůči karoserii je uložen na pružných spojkách (silentbloky).



Obr. 35 Inkrementální čidlo



Na *obrázku 36* vidíme místa pro možné uchycení čelní strany motoru ke karoserii a rovněž možnost upevnění držáku inkrementálního čidla, které bude zabudováno na rozvodové řemenici motoru.

Obr. 36

Možnosti upevnění na čelní straně motoru

8.3. Vyhodnocování dat pomocí programu Microsoft Excel

Vyhodnocování momentu snímače Kistler propojeného se systémem AVL:

Tabulkový procesor Microsoft Excel je vhodný pro vyhodnocování dat po provedeném měření (tzv. off-line). Naměřené hodnoty velikosti napětí zaznamenané systémem AVL přeneseme do předem uzpůsobeného programu, který nám umožní přepočítat napěťové hodnoty na hodnoty točivého momentu, určí střední hodnotu momentu jednotlivých cyklů a vykreslí graf variability cyklů motoru.

Válcová brzda Daimler Chrysler:

Válcová brzda se skládá ze dvou ocelových válců průměru 1219 mm (48 palců) propojenými přímo s elektromotorem. Stejnoseměrný stroj je regulován pomocí tyristorové soustavy. Moment setrvačnosti je ovládán elektricky a mechanicky. Přičemž základní setrvačná hmotnost činí 1361 kg. Připojení setrvačníku může být ovládáno elektromagneticky. Maximální rozsah měření trakční síly činí 3000 N.

Příprava válcové zkušebny:

Ustavením a zablokováním nápravy odpovídajícímu rozvoru vozidla dostaneme nápravu na které budeme provádět měření momentu nad vrchol válce. Tato sestava je umístěna v jedné rovině se zkušebními válci. Rozvor lze plynule nastavit pomocí dálkového ovladače, či ovládacího panelu, nebo automatickým zadáním jmenovité hodnoty.



Obr. 37 klapky válcové brzdy [5]

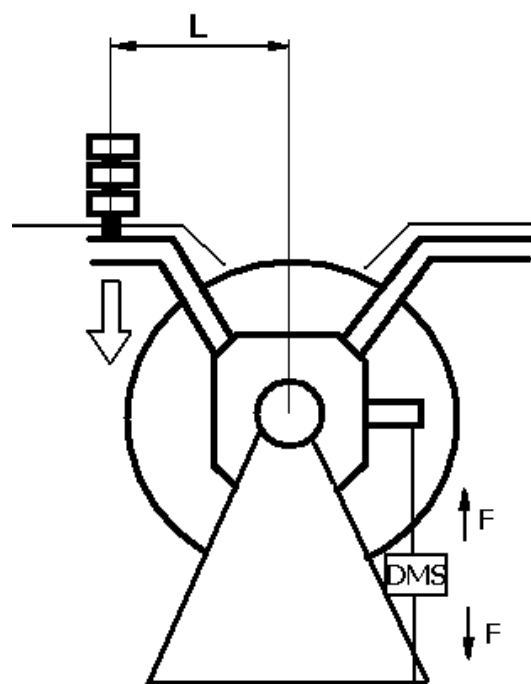
Nepoháněná náprava vozidla je uchycena pomocí pneumaticky ovládaných klapek. U vozidel s předním náhonem je z důvodu příčných sil zapotřebí upevnit vůz za přední tažné oko k rámu zkušebního zařízení viz. Obr. 38



Obr. 38 Upevnění vozu na válcové brzdě [5]

Měření trakční síly na kole válcové brzdy Daimler Chrysler:

Trakční síla je měřena pomocí přesné DMS senzoriky. Výsledný moment na kole pak dostaneme ze znalosti poloměru kola r_k . Válcovou brzdou je zapotřebí nejprve zkalibrovat dle obrázku a hodnot udávaných výrobcem.



$$F_{\text{trakční}} = \frac{m_{\text{kalibračního závaží}} \cdot g \cdot L}{r_{\text{válce}}} \quad (6)$$

Požadovaná hodnota:

$$F_{\text{trakční}} = 3091,15 \text{ N}$$

Dané hodnoty:

$$g = 9.80841 \text{ m/s}^2$$

$$L = 0.968 \text{ m}$$

$$r_{\text{válce}} = 0,60975 \text{ m}$$

Obr. 39 Kalibrace válcové brzdy

Vyhodnocování dat válcové brzdy Daimler Chrysler:

Z válcové brzdy dostaneme jako výstup trakční sílu na kole. Moment na kole pak bude dán vztahem (7).

$$M_k = (F_{\text{trakční}} + G \cdot f) \cdot r_k \quad (7)$$

M_k - moment na kole

G - zatížení nápravy

f – součinitel valivého odporu

r_k - poloměr kola

Výpočet poloměru kola:

Program Microsoft Excel, pro vyhodnocování dat z válcové emisní brzdy, bude uzpůsoben pro zadávání hodnoty průměru ráfků v palcích, a druhu použitých pneumatik. Pneumatika bude charakterizována šířkou a profilovým číslem, jež uvádí výrobce. Poloměr kola pak bude vypočten dle vztahu (8).

Příklad značení 165/70 R13

165 – jmenovitá šířka B v mm

70 – profilové číslo H/B v procentech

13- průměr ráfku v palcích

Poloměr kola pak bude:

$$r_k = D_r/2 \cdot 0,0254 + B \cdot P/100\,000 \text{ [m]} \quad (8)$$

r_k – poloměr kola [m]

D_r – průměr ráfku ["]

0,0254 – konstanta, přepočet palce - metry

B – jmenovitá šířka pneumatiky [mm]

P – profilové číslo [%]

Vzhledem k tomu, že na válcové brzdě je měřena síla trakční a neznáme velikost valivého odporu, můžeme brát v potaz moment hnací.

$$\mathbf{M_h = F_{trakční} \cdot r_k} \quad (9)$$

Pak ale platí upravený vztah (1)

$$M_h = M_m \cdot \eta' \cdot i_c \quad (10)$$

M_h – hnací moment

η' – celková účinnosti pohonu vozu

i_c – celkové převodové číslo

Celkovou účinností pohonu vozu je zde myšlen součin mechanické účinnosti převodového ústrojí a účinnost na kole, která je určena vlivem odporu valení.

Měření momentu na kolech pomocí Rototestu:

Pro měření točivého momentu přímo na kolech u vozu s pohonem všech čtyř kol a určení tak mechanické účinnosti převodového ústrojí je vhodné použití sestavy dynamometrů viz. obr. 40 od firmy ROTOTEST. U rototestu lze rovněž volit odlišné zatížení kol a určit tím vliv diferenciálu na celkovou mechanickou účinnost.



Obr. 40 Sestava dynamometrů firmy Rototest [14]

10) ZÁVĚR

Pro měření točivého momentu motoru ve vozidle jsem v rešersní části vytvořil přehled přírubových snímačů, které vyhovují svými parametry i délkou. Dále jsem se zabýval nepříznivými vlivy působícími na měřící přírubu snímače a tomu odpovídajícím návrhem zástavby. Výsledkem je konstrukční řešení sestavy pro vůz Škoda Yeti, na kterém tak bude možné měřit celkovou účinnost hnacího ústrojí. Pomocí programu vytvořeného v aplikaci Microsoft Excel lze vyhodnotit střední hodnotu momentu motoru, se kterou nadále pracujeme. Točivý moment je postupně měněn vlivem převodových čísel převodovky a rozvodovky, která lze zjistit pro daný typ vozidla, než se dostane na výstup, jímž je myšleno kolo vozu. Mimo převodových čísel se točivý moment snižuje ještě o hodnotu způsobenou mechanickými ztrátami. Pokud u takto upraveného vozu připevníme na kola snímače točivého momentu, jsme schopni určit skutečnou mechanickou účinnost celého převodového ústrojí. Při měření na válcové brzdě, bude výsledná naměřená trakční síla ponížena o sílu odporu valení, která závisí na zatížení nápravy a součiniteli odporu valení. Budeme-li uvažovat pouze moment hnací jako součin hnací (trakční) síly a poloměru kola, bude celková účinnost nižší právě o vliv odporu valení. Taková účinnost pak bude součinem celkové mechanické účinnosti převodového ústrojí a účinnosti na kole. Konstrukce zástavby se zabývá rovněž odbouráním vlivu axiální síly spojky. Ta vzniká pouze při vypínání spojky při řazení rychlostních stupňů. Tento vliv byl potlačen použitím radiálního kuličkového ložiska, které tuto sílu zachytí. Toto konstrukční řešení je určeno k výrobě a aplikaci pro vůz Škoda Yeti ke zkoušení v laboratořích KVM.

10) SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] František Vlk.: Dynamika motorových vozidel, 1. vydání,
Brno 2000, ISBN 80-238-5273-6
- [2] Zdeněk Vlasák: Diagnostika a opravy kotoučových třecích spojek
Odysseus 2003
- [3] S. Beroun: Vozidlové motory, TUL, studijní texty k předmětu „motorová vozidla“
- [4] S. Beroun - C. Scholz: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů
TUL, Liberec 1999
- [5] Daimler Chrysler: Exhaust gas test center sindelfingen, 2001
- [6] Hottinger Baldwin Messtechnik: Prospekty snímačů T40, T10F, T10FS
<http://www.hbm.cz/>
- [7] Magtrol: Prospekty snímačů řady TF
www.magtrol.com
- [8] Manner: Prospekty přírubových snímačů
www.sensortelemetrie.de
- [9] Kistler: Prospekty přírubových snímačů typu 4504B
www.kistler.com
- [10] Lorenz Messtechnik: Prospekty k snímačům točivého momentu
www.lorenz-messtechnik.de
- [11] Škoda: Podklady Škoda auto
www.skoda-auto.cz
- [12] Volkswagen: stránky firmy Volkswagen
www.volkswagen.cz
- [13] Jiří Vinklář: Semestrální práce , TUL, 2010
- [14] ROTotest: www.rototest.com

Poznámka:

Označování výkresů - KVM -BP - 233

Torque Measuring Flange

Type 4504B...

Short Profile, Robust, Bearingless, High Accuracy

Type 4504B... torque measuring flanges operate on the strain gage principle. The integral, digital measurement preconditioning system produces analog or digital output signals, which are transmitted without contact. The rotor runs in the stator ring without mechanical bearings and is therefore free from wear.

- Accuracy class 0,1 for frequency and voltage output available
- Dust and moisture proofed magnetic speed/angle acquisition system with high resolution
- Identification, parameterization, measuring and zero point taring via RS-232C is standard
- Very short axial dimensions
- Compact flange-to-flange solution
- Digital non-contact signal transmission
- Maintenance-free, bearingless
- Electrical control signal to test sensor functions
- Active temperature compensation
- Calibrated RS-232C output

Description

Type 4504B... torque measuring flange was designed to be a very short flange-to-flange solution and its rotor can be installed from one side (normally the test specimen side), straight to the flange of the loading machine. This allows easy, cost-effective assembly into a power train. Speed acquisition system is fully integrated within sensor construction.

The rotor is usually attached to the flange of the load machine. The stator is aligned at the mounted rotor and held by the stator subframe.

Data transmission is not affected by surrounding metal parts, so minimum distances to machine parts can be disregarded.

Geometry, dimensions, materials, measuring system and signal transmission are designed especially for raw and complex applications in engine test rigs.



Options

- Analog output or frequency output
- Speed measurement up to 60 pulses/rev.
- Rotational angle measurement, resolution up to 3 600 pulses/rev. (depends on size)

Application

The extremely narrow profile of the torque measuring flange Type 4504B... makes it very suitable for many test rig applications: Test bed for engines, dynamometer, wheel load simulation, gear boxes, pumps, electric motors and many others.

Technical Data

Mechanical Basic Data

Type 45048...			50...	100...	200...	500...	1000...	2000...	3000...	5000...
Rated torque	M_{rate}	N·m	50	100	200	500	1 000	2 000	3 000	5 000
Measuring range		N·m	±50	±100	±200	±500	±1 000	±2 000	±3 000	±5 000
Limiting torque	M_{lim}	N·m	100	200	400	1 000	2 000	4 000	6 000	10 000
Rupture torque	M_{rupt}	N·m	>200	>400	>800	>2 000	>4 000	>8 000	>12 000	>20 000
Alternating torque	M_{alt}	N·m	50	100	200	500	1 000	2 000	3 000	5 000
Nominal speed	n_{nom}	1/min	15 000	15 000	15 000	12 000	12 000	10 000	10 000	8 000
Torsional rigidity	C_T	kN·m/rad	66	238	375	945	1 462	3 220	5 089	11 442
Rotation angle at M_{lim}	φ	°	0,038	0,021	0,032	0,041	0,053	0,059	0,056	0,052
Max. bending torque	M_b	N·m	40	80	130	230	600	700	1 400	3 000
Max. axial force	F_A	kN	2	4	6	8	10	15	25	30
Rotor weight	m_{rotor}	kg	0,9	0,95	1,7	3	3	4,5	6,2	10,5
Stator weight	m_{stator}	kg	1,4	1,4	1,6	1,9	1,9	2,5	2,5	2,5
Moment of inertia (rotor)	J_{rotor}	kg·m ² ·10 ⁻²	1,5	1,6	4	11,6	11,1	25,2	27,8	91,6
Partial mass of the rotor (measurement side) also for option N1, N2	$m_{\text{rotor-M}}$	kg	0,33	0,36	0,75	1,2	1,15	2	2,8	4,5
Partial moment of inertia of the rotor (measurement side) also for option N1, N2	$J_{\text{rotor-M}}$	kg·m ² ·10 ⁻²	0,4	0,46	1,4	4	3,8	10,1	14,2	36,6
Balancing class	Q		6,3							
Housing material			Hard anodized aluminum							
Protection class			IP54							

General Electrical Specifications

Output signal	VDC	±0 ... 10
at M_{rate} (rated value)	VDC	10**
Load resistance	kΩ	>10
Limit frequency –3 dB	kHz	2
100 % control input	VDC	"On" 3,5 ... 30 "Off" 0 ... 2
Control signal	%FSO	100 ±0,1
Supply voltage	VDC	11 ... 30
Power consumption	W	<5

Electrical Measuring Data

Accuracy class		0,1
Linearity error		
including hysteresis	%FSO	≤±0,05
Temp. influence on the zero point	%FSO/°C	≤±0,005
Temp. influence on the nominal value	%FSO/°C	≤±0,01
Zero point stability (for 24 h)	%FSO	0,03
Reference temperature	°C	22 ±2

**Further options available

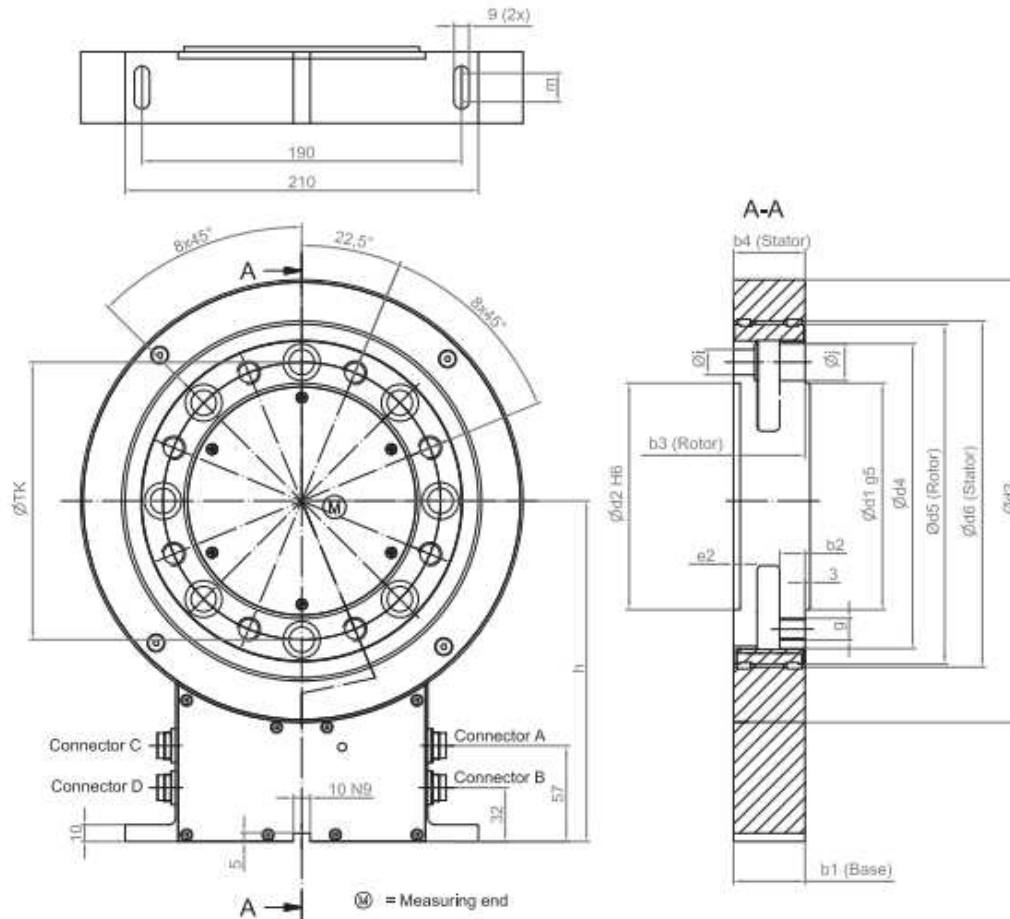
Operating temperature range	°C	10 ... 60
(Rated temperature range)		
Service temperature range	°C	0 ... 70
Storage temperature range	°C	–25 ... 80

Speed Measurement

Speed measurement option N1		
Pulses/revolution		1x60
Max. distance from rotor to probe	mm	2,5
Speed measurement option N2		
Pulses/revolution (Track A and B)		2x720 (2x600*)
		90° displaced, TTL
Max. distance from rotor to probe (adjustable)	mm	1,0
Speed measurement option N3		
Pulses/revolution (Track A and B)		2x1 024
		90° displaced, TTL
Max. distance from rotor to probe (adjustable)	mm	1,0

*With nominal torque 50 N·m and 100 N·m (Size 1)

Dimensions

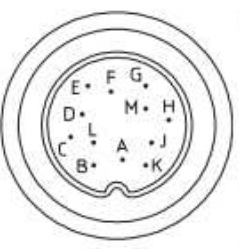


Dimensions in mm

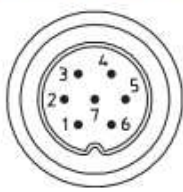
Size	Measuring range N·m	b1	b2	b3	b4	e2	Ød1 g6	Ød2 H6	Ød3	Ød4	Ød5	Ød6	TKø	g	h	Øi	Øj	m
1	50	40,5	6,5	25	25	2,5	75	75	172	100	120	124	87	M6	157,5	6,4	11	17
1	100	40,5	6,5	25	25	2,5	75	75	172	100	120	124	87	M6	157,5	6,4	11	17
2	200	40,5	8,5	30,5	30,5	2,5	90	90	192	120	140	144	105	M8	167,5	8,4	14	17
3	500	40,5	13	40,5	40,5	3	110	110	228	155	175	179	133	M12	185,5	13	20	17
3	1 000	40,5	13	40,5	40,5	3	110	110	228	155	175	179	133	M12	185,5	13	20	17
4	2 000	42,5	16	42,5	42,5	4	140	140	263	190	210	214	165	M14	202,5	15	22	17
4	3 000	42,5	22	55	42,5	4	140	140	263	190	210	214	165	M14	202,5	15	22	17
5	5 000	64	21	64	64	4	174	174	311	238	255	259	206	M18	226,5	19	30	34

Electrical Connections with Option B1 Analog Output

Pin Allocation of the 12-Pin Built-in Standard Connector A

	Function	PIN	Description
	Supply	F	+U _s
		A	GND
	Shield	M	In sensor connected to housing
	Torque output	C	U _s
		D	AGND
	Torque impulse	H	Track A
		G	Track B
		J	Option N2 and N3 as track A, 90° displaced
	100% control input	K	Control
			Off: 0 ... 2 VDC On: 3.5 ... 30 VDC R _x = 10 kΩ
	RS-232C interface to the CoMo Torque	B	TXD
		L	RXD
	Digital ground	E	DGND

Pin Allocation of the 7-Pin Built-in Standard Connector B

	Function	PIN	Description
	–	1	Not connected
	–	2	Not connected
	Digital mass potential	3	DGND
	100% control input	4	Control
	RS-232C interface	5	TXD
		6	RXD
		7	OGND

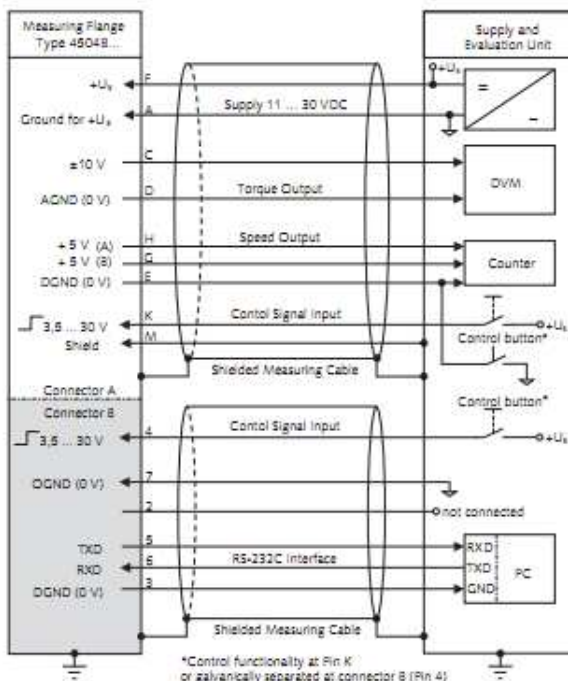
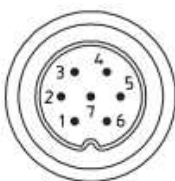


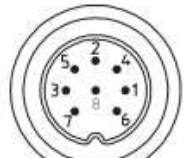
Fig. 1: Pin allocation of the built-in connector A and B

Electrical Connections

Pin Allocation of the 7-Pin Built-in Connector C

	Function	PIN	Description	
			Voltage	Frequency
	Supply	3	+U _s 11 ... 30 VDC, power consumption <5 W	+U _s 11 ... 30 VDC, power consumption <5 W
		2	GND Ground relating to +U _s	GND Ground relating to +U _s
	Torque output	4	U _s ±10 VDC at ±M _{max} at >2 kΩ 10 VDC at control signal activation R _c = 10 Ω, output short circuit proof relating to AGND	F _s + Frequency signal RS-422 100 ±40 kHz (Opt. B2) 60 ±20 kHz (Opt. B3) 10 ±5 kHz (Opt. B4)
		5	Not connected	AGND Ground relating to frequency signal
		1	AGND Ground relating to U _s	F _s - Frequency signal RS-422
	100 % control input (Potential free input)	6	Control Off: 0 ... 2 VDC On: 3,5 ... 30 VDC R _x = 10 kΩ	Control Off: 0 ... 2 VDC On: 3,5 ... 30 VDC R _x = 10 kΩ
		7	OGND Ground relating to control input	OGND Ground relating to control input

Pin Allocation of the 8-Pin Built-in Connector D

	Function	PIN	Description
	Speed and angle rotation pulses	1	Track A+ Active TTL, RS-422
		3	Track B+ Active TTL, RS-422
		6	Track A- Active TTL, RS-422
		7	Track B- Active TTL, RS-422
		8	DGND Ground relating to speed pulses, angle rotation pulses
		2	Not connected
		4	Not connected
		5	Not connected

Further configurations of output are adjustable (see manual)

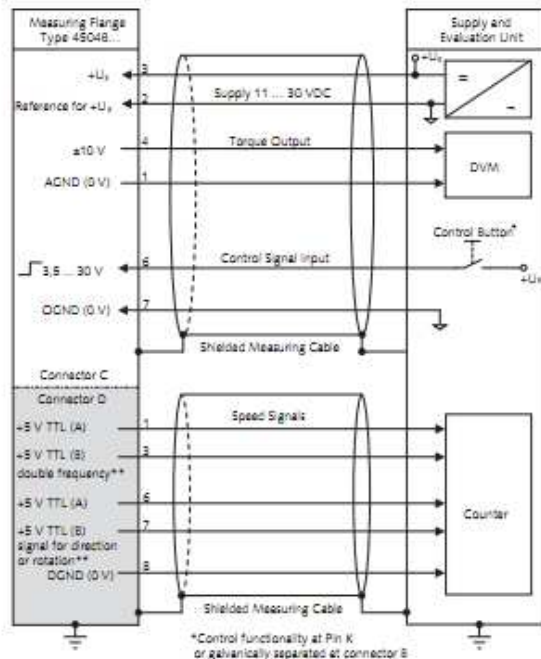


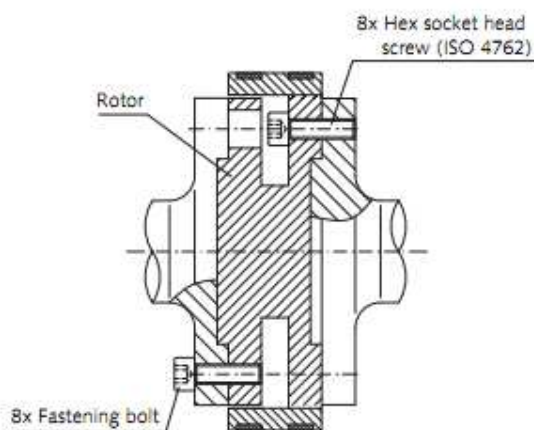
Fig. 2: Pin allocation of the built-in connector C and D

Mounting

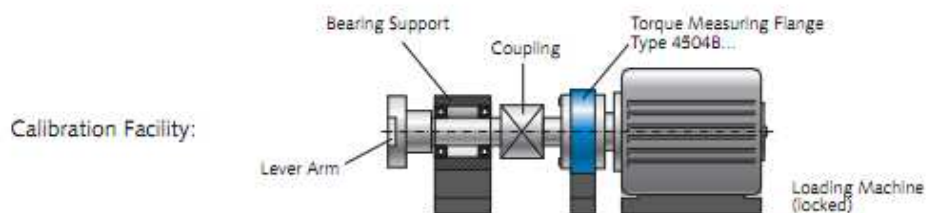
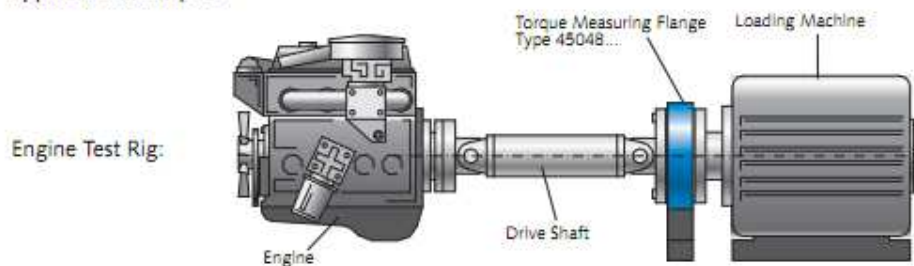
Threaded Joint of Rotor, Fastening Bolts

Nominal torque M_{nom}	N·m	50	100	200	500	1 000	2 000	3 000	5 000
Thread		M6	M6	M8	M12	M12	M14	M14	M18
Quality class		10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Min. mounting depth	mm	6	6	8	13	13	16	21	21
Max. mounting depth	mm	15	15	16	22	22	26	31	35
Fastening torque M_{fix}	N·m	14	14	34	100	115	185	185	400
Balancing class	Q	6.3							
Counterflange flatness	mm	0.01							
Counterflange concentric.	mm	0.02							
Max. delay rotor to stator									
Axial	mm	±1							
Radial	mm	±2							

Important: mounting depth has to be strictly observed!



Application Examples



Included Accessories

- None

Optional Accessories

• Connection cable, length 5 m	Type/Art. No.
• Connection cable, length 5 m, 12 pin – open ends	KSM007203
• Connection cable, length 5 m, 7 pin – open ends	KSM124970-5
• Connection cable, length 2,5 m, 12 pin – CoMo Torque	KSM219710-5
• Female connector 7 pin (plug C)	KSM186420-2,5
• Female connector 8 pin (plug D)	KSM000517
• ControlMonitor CoMo Torque	KSM013136
• Evaluation instrument for torque sensors	4700A...
• Adapter flange	2300A...
• Torsion proof multi-disk coupling	2300A...
• SensorTool	4706A...

Our torque calibration service lab DKD-K-37701 offers traceable recalibration of any brands.

For further information of cable and connector see data sheet 000-615.

Ordering KeyType 4504B ☐ ☐ ☐**Measuring Ranges in N·m**

50	50
100	100
200	200
500	500
1 000	1K
2 000	2K
3 000	3K
5 000	5K

Output Signal

Analog output 0±10 V	B1
Frequency output 100 ± 40 kHz	B2
Frequency output 60 ± 20 kHz	B3
Frequency output 10 ± 5 kHz	B4

Speed

Angle measurement with 60 pulses/rev.	N1
Angle measurement with 2x720 (2x600) pulses/rev.	N2
Angle measurement with 2x1 024 pulses/rev.	N3

Order example:

Type 4504B1KB1N1

Torque sensor: Rated torque 1 000 N·m, Analog output ±10 V
 Speed measurement with 1x60 pulses